



TITLE:

建築プロジェクトにおける鉄骨工 事の設計変更対応業務に関する研 究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

金, 貞坤

CITATION:

金, 貞坤. 建築プロジェクトにおける鉄骨工事の設計変更対応業務に関する研究. 京都大学, 2013, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2013-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k17882>

RIGHT:

建築プロジェクトにおける
鉄骨工事の設計変更対応業務に関する研究

キム ジョンゴン
金 貞坤

目 次

第1章 序論

1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	3
1.3 研究の方法	4
1.4 既往研究	5
1.5 研究の意義	6
1.6 本論文の構成	7
1.7 用語の定義	9

第2章 鉄骨工事における鉄骨生産体制および設計変更の発生実態

2.1 はじめに	11
2.2 鉄骨工事における品質確保の仕組み	13
2.3 建築プロジェクトにおける鉄骨生産体制	15
2.3.1 大規模な鉄骨工事における鉄骨生産体制と役割分担	15
2.3.2 中小規模な鉄骨工事における鉄骨生産体制と役割分担	19
2.4 鉄骨ファブの鉄骨生産業務分析	23
2.4.1 鉄骨ファブの鉄骨生産業務	23
2.4.2 M社のバーコード基盤の厚板と鉄骨製品管理システム	27
2.4.3 鉄骨生産に関わる情報管理システムの開発における検討課題	31
2.5 小結	33

第3章 鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響分析

3.1 はじめに	37
3.2 鉄骨工事における設計変更の発生タイミングの分析	39
3.3 設計変更の発生タイミングを比較するための変換モデルの開発	42
3.4 考察	48
3.5 小結	50

第4章 設計変更に対する鉄骨ファブリケータの意思決定の仕組み

4.1 はじめに	53
4.2 鉄骨ファブの業務と生産組織体制	55
4.2.1 鉄骨ファブの業務と生産スケジュール	55
4.2.2 鉄骨ファブの生産組織体制	56
4.3 鉄骨ファブの設計変更対応業務	57
4.3.1 鉄骨ファブの設計変更対応業務(改善前)	57

4.3.2 鉄骨ファブの設計変更対応業務の改善(改善後)	61
4.3.3 設計変更対応業務の相違点と改善効果の分析	61
4.4 設計変更に対する意思決定の仕組み	63
4.4.1 意思決定の過程とその内容	63
4.4.2 鉄骨ファブの会議体の仕組み	65
4.5 小結	66
第5章 鉄骨工事における設計変更対応業務の実態	
5.1 はじめに	69
5.2 鉄骨生産体制と鉄骨製作図の作成	72
5.2.1 鉄骨生産組織体制	72
5.2.2 鉄骨製作図の作成	74
5.3 鉄骨工事における設計変更対応業務の分析	76
5.3.1 現場組織の設計変更対応業務	78
5.3.2 鉄骨工場の設計変更対応業務	79
5.4 鉄骨工事における設計変更対応費用の分析	79
5.4.1 変更対応費用に関する事例分析	79
5.4.2 変更対応費用の推移分析	81
5.5 小結	87
第6章 鉄骨工事における合理的な設計変更対応業務に関する考察	
6.1 はじめに	91
6.2 設計変更の要求過程	92
6.3 変更対応業務に参考として使われる情報	93
6.4 鉄骨生産状況のモニタリング	96
6.4.1 部品のモニタリング	96
6.4.2 生産状況のモニタリング	97
6.5 開発事例：バーコード基盤の鉄骨生産管理システム	99
6.6 まとめ	101
6.7 合理的な設計変更対応業務に関する考察	102
6.8 小結	105
第7章 結論	108
7.1 各章のまとめ	108
7.2 結論	110

第1章 序論

1.1 研究の背景

日本では、鉄骨造(S造)が1980年代から新築工事の延床面積の3割以上を占めており(図1-1)、重要な工事として、過去数十年の間徐々に鉄骨工事の品質確保に関する様々な基準や制度が導入され、現在では厳しい管理システムになっている。特に、地震が多発している日本においては、木造以外に高層ビル、倉庫、工場などの建築物が主に鉄骨造として建設されている。その結果、耐震設計を含んだ鉄骨生産技術は以前から世界で最高水準として認識されてきた³⁾。60～70年代の高度成長期の日本の鉄骨工事では、倉庫、工場等の産業施設が主流であったが⁴⁾、最近では、超高層ビルなどが主要な鉄骨工事になっている。鉄骨使用量は、戦後から1973年までに徐々に増加したが、オイルショックによって使用量が激減し、その後90年代初盤までは再度増加したが、バブル経済の崩壊のため、現在まで減少している(図1-1)。

このような日本の鉄骨産業と建設産業が直面している問題としては、外部的には、バブル経済以後の急速な建設市場規模の縮小による企業の受注競争の激化や利益減少などであり、内部的には、2007年の団塊世代の大量引退を始め熟練工の不足に伴う生産性の低下と建設企業の残業時間の増加、また、1995年の「阪神淡路大震災」と2005年の「構造計算書偽装事件」から、建築工事における品質確保のために導入された厳しい制度に合わせてどの様に建築生産の仕組みを構築するかが課題になっている。

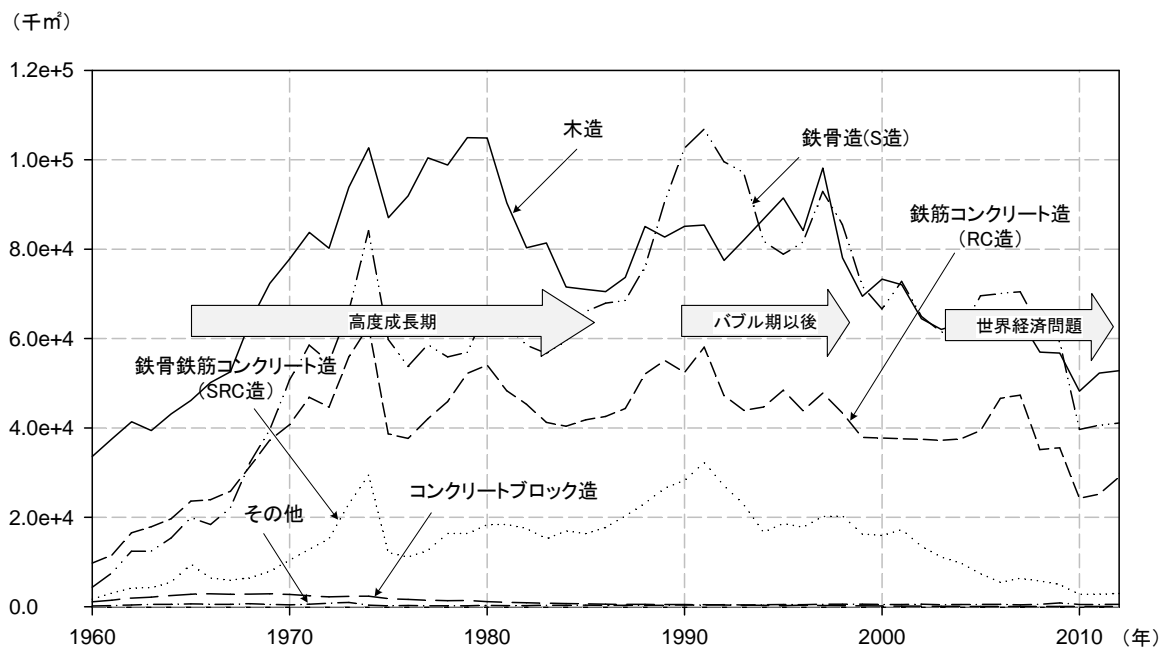


図1-1 構造形式別の新築工事面積の推移

(出所：国土交通省¹⁾と日本鉄鋼連盟²⁾の資料に基づいて筆者作成)

最近、米国・EU などの先進国では、設計変更や手戻りなどの建築生産における非効率的な業務を最小化して生産性を向上する研究などが行われ、施工途中に発生する設計変更はプロジェクトの生産管理上の大きな問題として扱われている。特に、躯体となる鉄骨の場合、材種仕様の決定から生産や輸送などの業務に掛かる時間が長いいため、鉄骨工事の途中には様々な要因による設計変更が発生し、鉄骨工事だけではなく、プロジェクト全体に大きな影響を与えている。

設計変更とは、一般に設計段階で発注者の要求品質を満足させるために、設計者が作成した設計内容を変更することである。しかし、施工段階に入ると、設計者が作成した図面以外に、鉄骨の生産と施工のための詳細な技術情報、工期、工事費などの情報が追加されて鉄骨生産へと向かう。つまり、鉄骨生産情報の作成過程には、設計者を含めて、ゼネコン、サブコン、材料メーカーなどの協力によって、設計図、施工図や工作図などが作成され、監理者が他の工事との取り合い検討と調整を行っている。その結果、施工段階で少なくとも施工計画変更を含んだ設計内容の変更が発生している。本論文ではこれらを含めて設計変更と呼んでいる。さらに、鉄骨工事における設計変更対応業務は工期やコストに大きな影響を及ぼしているが、その対応業務の実態は依然として不明確な業務として認識されている。その理由は、鉄骨工事に関わる発注者・設計者・施工者などの立場の違いによって設計仕様の決定過程や設計変更に対する異なる対応傾向をとっているためである。つまり、設計者は自分の設計内容を十分に検討するために、仕様決定が遅れる傾向がある。さらに発注者にとってもより現実的な図面が見えるようになる。一方、施工者は施工前のリードタイムを長くして、不測の事態に備える傾向があるため、発注者の変更要求や設計者の仕様決定の遅れによって負担が掛かる^{5)、6)}。

このような鉄骨工事の関係者が持つ相違点を合理的に解決するためには、先ず鉄骨工事における設計変更の発生過程と対応業務の実態を明らかにした上に、各生産主体の立場を考慮して設計変更対応業務を検討する必要がある。従って、本研究の最大の目的は、設計変更対応業務の実態の把握と、何時までに的確な変更指示を発信すれば鉄骨生産主体に掛かる負担を軽減でき、円滑な鉄骨生産業務になるかを明確にすることである。

本論文は、施工段階で発生する鉄骨工事における設計変更を中心に扱い、その検討の範囲としては、鉄骨工事における品質確保のための生産主体の中で設計変更対応業務を担当し、意思決定を行っているゼネコン・監理者・鉄骨ファブリケータ(以下、鉄骨ファブと呼ぶ)の業務を取り上げる(図 1-2)。また、研究全体の範囲を提示すれば図 1-3 の通りである。

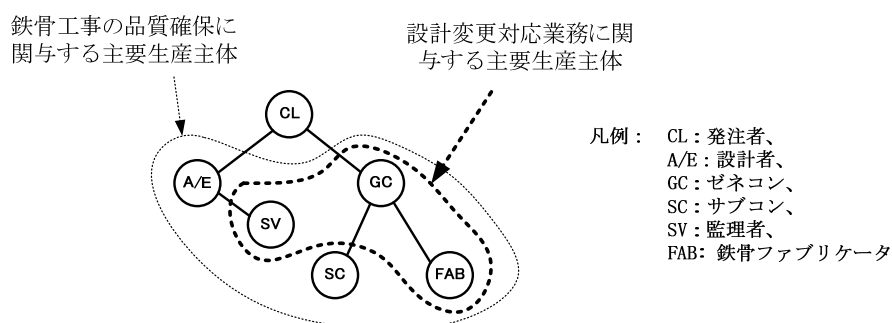


図 1-2 鉄骨生産主体の役割分担関係図

(出所：資料⁷⁾に基づいて筆者作成)

1.3 研究の方法

上記の研究目的を達成するため、以下の五つの研究方法を用いることとする。

(1) 建築プロジェクトにおける鉄骨生産体制と品質確保の仕組みを把握するために、鉄骨工事に関する既往研究、文献、建設関連データに基づき、鉄骨生産体制と鉄骨工事における品質確保の仕組みの形成過程及び、事例調査に基づいて多様化されている鉄骨生産体制の実態を明らかにする。また、実質的に鉄骨生産と設計変更対応業務を担当する鉄骨ファブの鉄骨生産業務を明らかにするために、鉄骨生産業務を一貫して担当している大規模な鉄骨ファブの鉄骨生産業務を分析し、設計変更対応業務に関わる問題点と改善課題を考察する。

(2) 鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響を明らかにするために、異なる三つのゼネコンが行った三つの鉄骨生産プロジェクト(二つの設計施工一括と一つの設計施工分離)から設計変更 277 件を選んで分析する。具体的には、鉄骨生産リードタイムを考慮して比較が可能になる変換モデルを作成し、そのモデルを活用して変更のタイミング、対応費用、鋼材使用量を変換して比較し、設計変更の発生タイミングとその影響の特徴を考察する。

(3) 設計変更に対して鉄骨ファブが行っている意思決定の仕組みを明確にするために、ヒアリングと資料調査に基づいて鉄骨生産組織、全般的な鉄骨ファブの生産業務と設計変更対応業務のプロセスと設計変更対応過程の問題点を把握し、設計変更に対する意思決定の過程と内容を考察する。

(4) 鉄骨工事の設計変更対応業務に関する全体的な仕組みを把握するために、発注方式が異なる二つのプロジェクトを選び、設計変更要求から最終的な対応までの一連の業務を詳細に比較分析する。また、鉄骨工事の関係者らの負担を軽減するような設計変更対応業務の仕組みや対応方法を検討するために、調査対象のプロジェクト事例から設計変更の事例を選んで対応費用のシミュレーションを行い、意思決定を含んだ設計変更対応業務に関する問題点とその改善方を考察する。

(5) 設計変更対応業務で重要な役割を担うゼネコン、監理者、鉄骨ファブを現場組織と工場組織に分けて現実に可能な対策を検討するために、先ずゼネコンからの変更要求に対する鉄骨ファブにおける意思決定の過程とその意思決定に関わる情報を詳細に分析し、鉄骨製造ラインに運用されている情報システムに基づいて生産状況データの自動的な入手方法を検討する。また、現場組織については、図面の作成と検討、鉄骨生産日程などのゼネコンと監理者の業務に関する改善課題を考察する。

1.4 既往研究

(1) 日本の鉄骨生産体制と設計変更に関する研究

蟹澤（1994；1995）は鉄骨製作における鉄骨仕様決定の遅れや工事計画の変更などが設計変更の主な発生原因になっていることを具体的に分析し、鉄骨ファブを対象としてアンケート調査を実施して全体的な鉄骨生産体制の問題をイメージ化した^{8)、9)}。

一方、鉄骨生産体制については、建築研究所の報告書の「鉄骨造建築物の品質管理」の部分で品質確保の問題として扱った⁷⁾。また、梅国は、鉄骨生産の分業化や多様化が徐々に移行し、プロジェクト組織内の役割分担も変わっている問題を指摘した¹⁰⁾。

(2) 海外の鉄骨工事にに関する研究：設計変更の影響分析に関する研究(図 1-4)

設計変更の影響を分析した研究では、Leonard が本格的に始め¹¹⁾、Ibbs^{12)~16)}と Hanna^{17)~20)}が多様な検討を行った。特に、二人の研究者の基礎資料になったのは、1990 年代前半にアメリカの CII (Construction Industry Institute) が設置したプロジェクトの変更管理研究チーム (Project Change Management Research Team) の検討資料である¹²⁾。さらに CII の設計変更に関する研究会は最近まで継続され、近年では設計変更対応業務を情報システム化する検討などが行われている²¹⁾。この研究会以外にも、数多くの研究者が設計変更の影響についての研究を行っている。プロジェクトへの影響を評価する主な変数としては、コスト・スケジュール・労働生産性が一般に使われている。

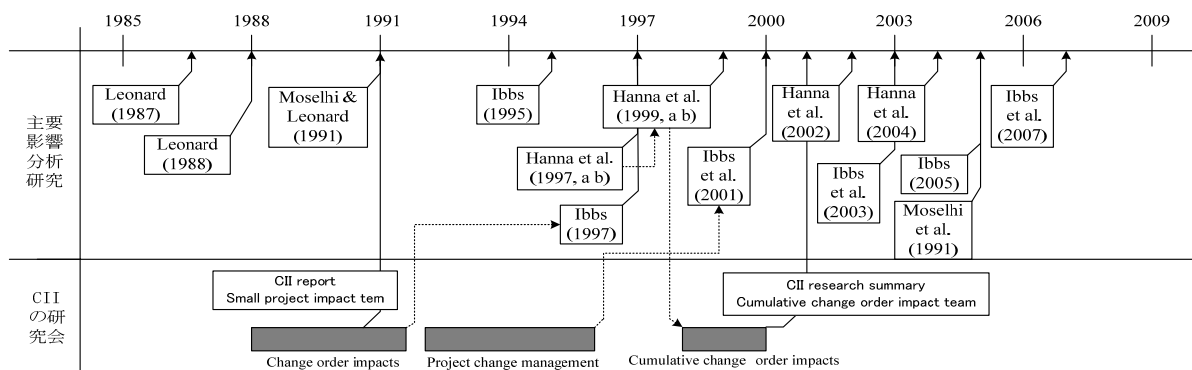


図 1-4 海外の設計変更に関する研究

(出所：文献調査に基づいて筆者作成)

(3) 海外の鉄骨工事にに関する研究：設計変更対応業務に関する研究

設計変更の対応に関する研究では、Ibbs は CII が開発した CMS (Change Management System) を紹介している¹³⁾。CII の設計変更の対応概念は、「cradle-to-grave」といった包括的な考え方である。具体的には 5 段階の設計変更対応戦略となっており、その内容は、バランスを維持する設計変更対応戦略、変更要求の認識、変更要求の評価、変更の実行、そして結果からの学習と成長に繋がっている。Lee は設計と施工段階を対象として作業エラーを考慮した業務の遅延パッ

ファを計算し、スケジューリングの信頼性と安定性を評価するモデルを開発した²²⁾。この結果を活用して Motawa は、ファジィ理論を活用して設計変更を予測するモデルを開発した²³⁾。また、Issac は、発注者の仕様変更要求が、実際の対応検討まで様々な変更業務に細分化する過程をモデル化した²⁴⁾。

(4) 既往研究の検討

実務的に鉄骨の生産業務と設計変更対応業務を扱った研究は少ない。多くの研究では、概念的な設計変更対応業務を検討している。特に、日本の鉄骨生産システムは、他の国と比べて複雑な生産形態を取っているため、設計変更が多く発生する問題がある。しかし、実例を用いて比較した研究がないため、実質的な差異点は明確になっていない。蟹澤などが検討した鉄骨工事における設計変更の発生要因は参考資料として十分な意味を持っていると考えられるが、彼らの研究からおおよそ 20 年近く変化してきた建築生産システムの様子を考慮した検討を行う必要がある^{7)、8)}。さらに峰政と勝山が指摘した建築生産の各生産主体の立場の違いから発生する設計変更に関する構造的な問題を合理的に解決することが重要な課題である^{5)、6)}。

1.5 研究の意義

鉄骨工事は、建築プロジェクトの中の主要な工事の一つであり、設計変更の処理・対応において工期、コストに大きな影響を及ぼしているため、鉄骨生産主体(発注者、設計者、施工者、監理者、鉄骨ファブなど)が情報を交換しながら設計変更に対応している。しかし、どのような仕組みを作って設計変更に対応しているのか、具体的な実態を扱った研究は極めて少ないのが現実であり、さらに設計変更対応業務は不明確な部分が多く、現実的な対応策を検討することも不可能であった。その結果、設計変更の発生問題を根本的に検討することもできなかった。

このような状況において、本研究の意義は、各鉄骨生産主体が行っている設計変更対応業務を調査し、その実態を扱った点にある。また、設計変更はその発生時期によってプロジェクトに及ぼす影響が異なっている。つまり、何時までに変更を要求すれば変更処理が可能であり、プロジェクトの負担としてそれに掛かる費用と工期の増減が把握できればプロジェクトの関係者が仕様決定や検討などの意思決定の判断材料が明確になる。

本論文の意義を端的に言えば、狭義の観点では、鉄骨工事の詳細な生産工程に踏み込んで設計変更対応問題を扱った数少ない研究であり、設計変更対応体制の合理化に資することである。

また、広義の観点では、鉄骨生産情報の決定時期の違いからプロジェクトの工期とコストに与える影響を評価できるしくみの構築であり、今後の鉄骨生産分野への普及が期待されるところである。

1.6 本論文の構成

本論文は大きく 7 章で構成されている。以下に各章の概要を述べ、本論文の構成を図 1-5 に示す。

第 1 章：序論

本研究の背景と目的、既往研究などについて述べる。

第 2 章：鉄骨工事における鉄骨生産体制および設計変更の発生実態

鉄骨工事における設計変更の発生実態を明らかにするために、文献調査や事例に基づいて鉄骨生産体制および品質確保の仕組みを分析する。先ず「阪神淡路大震災」や「構造計算偽装事件」などの社会的な問題によって導入された品質管理に関する法制度の影響を分析する。次には大手ゼネコンと中堅ゼネコンが行ったプロジェクトの鉄骨生産体制を分析し、多様化されている鉄骨生産体制の実態を把握する。また、鉄骨生産で主要な役割を担っている鉄骨ファブの生産業務を分析し、鉄骨工事における設計変更の発生実態を明らかにする。

第 3 章：鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響分析

鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響を正確に評価するために、三つの鉄骨生産プロジェクトから 277 件の設計変更データを選んで分析を行う。具体的には、異なる生産リードタイムを持つ各生産節のリードタイムを伸縮して変換モデルを作成し、変更タイミングと影響を比較分析し、差異が発生する原因を考察する。

第 4 章：設計変更に対する鉄骨ファブリケータの意思決定の仕組み

鉄骨生産体制の中で主な生産主体として、実質的に鉄骨工事における設計変更対応業務を担当している鉄骨ファブの設計変更対応業務と意思決定の仕組みを分析する。そのため、鉄骨生産業務を一括して受注している大規模な鉄骨ファブを選び、設計変更対応業務や意思決定の仕組みを明らかにする。

第 5 章：鉄骨工事における設計変更対応業務の実態

鉄骨工事における設計変更対応業務の全体像を明らかにするために、ゼネコン、監理者、鉄骨ファブなどの関係者が行っている鉄骨生産業務と設計変更対応業務を事例に基づいて明らかにする。また、設計変更の要求から最終処理までの業務フローを分析し、各業務段階での業務内容と意思決定の基準などを詳細に分析する。さらに、設計変更の発生時期と対応費用の相互関係を明確にするために、対応費用シミュレーションを行い、それに基づいて設計変更対応業務の問題点と改善課題を考察する。

第 6 章：設計変更に対する合理的な意思決定を支援する情報管理

第 2 章から第 5 章までの検討結果を踏まえて、第 6 章では鉄骨工事における設計変更対応業務の合理化に関する具体的な課題を鉄骨工場と施工現場に分けて考察する。

鉄骨工場については、鉄骨ファブの意思決定の正確性と利便性を高めるために、製作状況の情報をモニタリングする方法を検討する。また、施工現場については、設計変更の発生を防止し、発生した設計変更の検討業務を円滑に行うための戦略的な方法を検討する。

第7章：結論

結論であり、本論文の各章で得られた知見、今後の課題などを整理する。

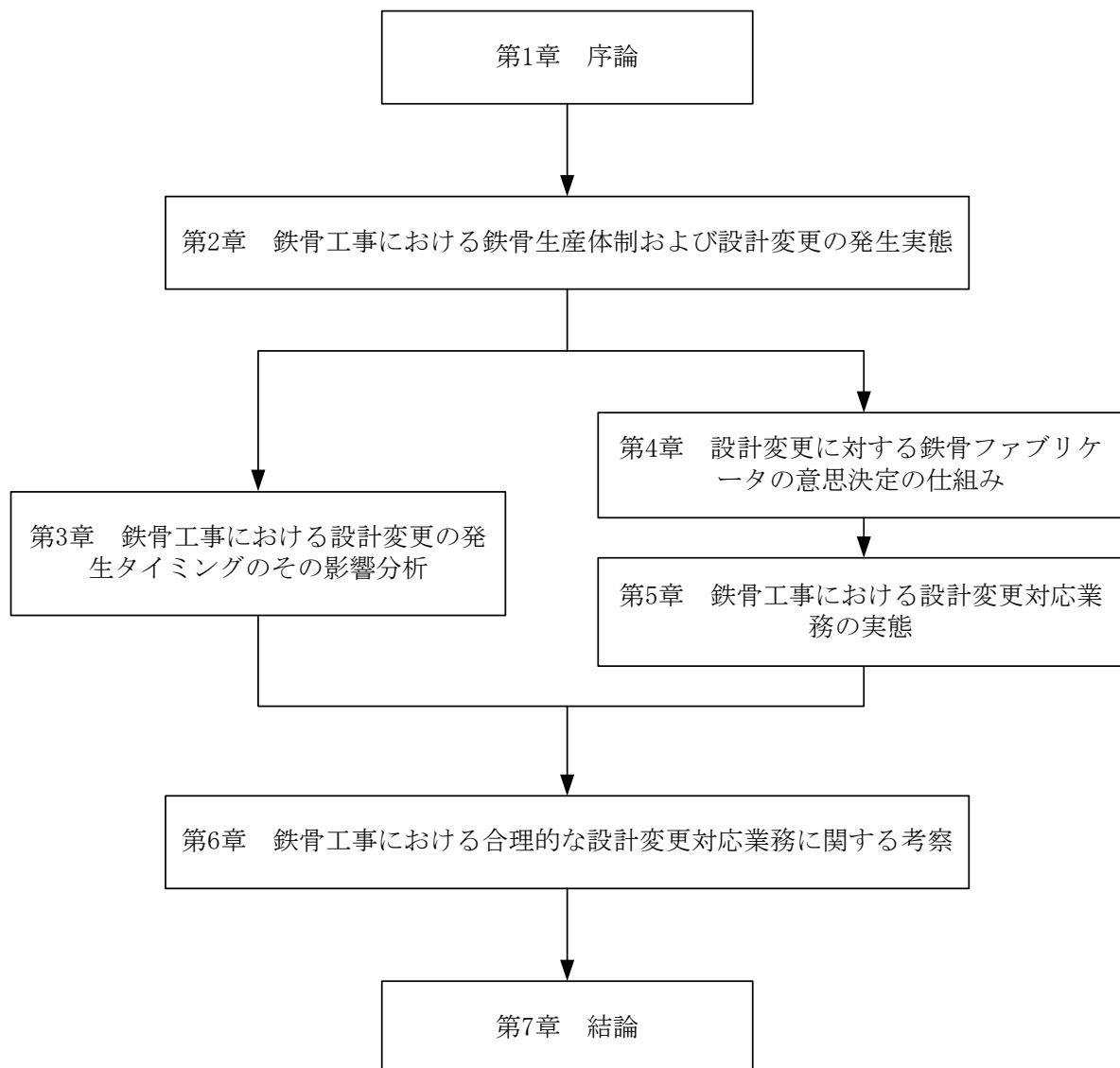


図 1-5 本論文の構成

1.7 用語の定義

本論文では外国語を日本語に訳することが困難な場合、もしくは鉄骨工事に関する専門用語の意味の取り違いを及ぼす恐れがある場合は「」をつけて表記し、それ以外は最も適切と判断される日本語で表記する。

また、説明が必要な用語については各章ごとに注をつけて記述する。

参考文献

- 1) 国土交通省の統計情報:<http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html> (2012 年 3 月検索)
- 2) 日本鉄鋼連盟の統計・分析:<<http://www.jisf.or.jp/data/index.html>> (2012 年 3 月検索)
- 3) 仲成雄：鉄骨建築の正しい発達について、日本鋼構造協会、Vol. 14、no. 145、pp6-7、1978. 1
- 4) 中野孝太郎：鉄骨産業の当面する課題、日本鋼構造協会、Vol. 14、no. 145、pp8-10、1978. 1
- 5) 峰政克義：建築プロジェクトにおける生産情報確定計画の作成支援方法に関する研究、京都大学博士学位論文、1999. 9
- 6) 勝山典一他：建築生産情報の確定過程に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 548 号、pp223-230、2001. 10
- 7) 国土交通省建築研究所：「建設事業の品質管理体系に関する技術開発」報告書、建築分野編：第 3 章鉄骨造建築物の品質管理、2001. 3
- 8) 蟹澤宏剛他：鉄骨製作段階における生産設計の実態、日本建築学会、第 10 回建築生産と管理技術シンポジウム、pp207-212、1994. 7
- 9) 蟹澤宏剛他：鉄骨ファブリーケーターの業務からみた生産設計の実態、日本建築学会、第 11 回建築生産と管理技術シンポジウム、pp111-118、1995. 7
- 10) 梅国章他：鉄骨製作における分業体制に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1 都市計画 建築経済・住宅問題、pp1287-1288、2010. 7
- 11) William Ibbs: Quantitative Impacts of Project Change: Size Issue, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 123. No. 3, pp308-311, 1997. 9
- 12) William Ibbs, et.al: Project Change Management System, Journal of Management in Engineering, Vol. 17. No. 3, pp159-165, 2001. 10
- 13) William Ibbs, et.al: Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis, Journal of Management in Engineering, Vol. 29, No. 4, pp382-387, 2003. 8
- 14) William Ibbs: Impact of Change's Timing on Labor Productivity, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 131. No. 11, pp1219-1223, 2005. 11
- 15) William Ibbs, et.al: Quantified Impacts of Project Change, Journal of

- Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 133. No. 1, pp45-52, 2007.1
- 16) Awad S. Hanna, et.al: Quantitative Definition of Projects Impacted by Change orders, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128. No. 1, pp57-64, 2002.2
- 17) Awad S. Hanna, et.al: Statistical-Fuzzy Approach to Quantity Cumulative Impact of Change orders, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 16. No. 4, pp252-258, 2002.10
- 18) Awad S. Hanna, et.al: Impact of Change Orders on Small Labor-Intensive Projects, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 130. No. 5, pp726-733, 2004.10
- 19) Awad S. Hanna, et.al: Risk Allocation by Law - Cumulative Impact of Change Orders, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 133. No. 1, pp60-66, 2007.1
- 20) CII(Construction Industry Institute):<<https://www.construction-institute.org>> (2012年5月1日検索)
- 21) Leonard, C.A.: The effect of change orders on productivity, The Revay Report, Vol.6, No.2, 1987.8
- 22) S.H. Lee, et.al: Web-Enabled System Dynamics Model for Error and Change Management on Concurrent Design and Construction Projects, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 20. No. 4, pp290-300, 2006.7
- 23) Motawa, I.A. et.al: An integrated system for change management in construction, Automation in Construction, Vol. 16, Issue3, pp368-377, 2007.5
- 24) Shabtai Isaac et.al: Feasibility Study of an Automated Tool for Identifying the Implications of Changes in Construction Projects, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 134. No. 2, pp139-145, 2008.2

第2章 鉄骨工事における鉄骨生産体制及び設計変更の発生実態

2.1 はじめに

(1) 研究の背景

近年、建築物の高層化とともに鉄骨製品の使用量が増加し、鉄骨製造業の専門化・分業化が進み、多様な生産と調達の形態を取るようになったため、鉄骨製品の安定的な生産・調達および適切な品質確保が重要な問題になってきている。

鉄骨製品の生産者は日本国内だけではなく、海外の鉄骨ファブを含んだ、多様な規模・生産能力・品質管理能力を有した鉄骨ファブが存在するため、施工者が鉄骨ファブを適切に選び、生産情報を交換・共有しながら鉄骨生産の全過程を管理することは困難である。従って鉄骨製品の品質と製作過程の信頼性を確保することが重要な課題となっている。そのため「鉄骨製作工場認定制度」や「第三者検査制度」などの制度的な方法を通じて鉄骨製品の品質確保の仕組みが構築されてきた。図 2-1 は日本の「鉄骨製作工場認定制度」により登録されている鉄骨製作工場の数をグレード別に整理したものである。

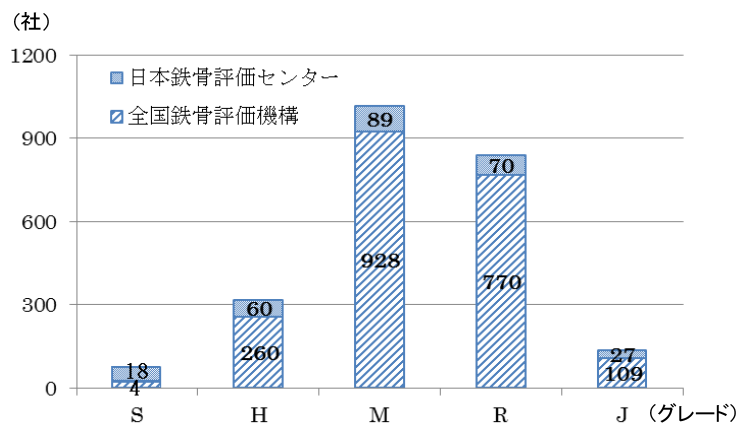


図 2-1 日本の「鉄骨製作工場認定制度」により登録されている鉄骨製作工場

(出所：日本鉄骨評価センター¹⁾：2012 年 10 月 17 日現在)

(出所：全国鉄骨評価機構²⁾：2012 年 3 月 30 日現在)

鉄骨製品の品質に関わる法制度・基準等は、様々な社会的要求に基づいて変更されてきたが、特に 1995 年に発生した「阪神淡路大震災」が主な契機となって鉄骨製品の品質問題が本格的に検討され、その結果、設計基準と品質管理の強化を含んだ制度的な整備が行われた。さらに 2005 年に「構造計算書偽装事件」が発生して、2007 年には建築生産システムの全般に至る資格制度や建築審査などを含んだ様々な法制度の変化により建築工事に関する品質管理業務がさらに強化されている³⁾⁴⁾。しかし、実際の鉄骨製品ごとの品質確保は、法制度的な仕組みだけではなく、鉄骨ファブの生産管理・品質管理・情報管理などの様々な業務管理を通じて達成できる。従って鉄骨ファブの業務形態と管理能力は鉄骨製品の品質を決める主要因でもある。

鉄骨ファブの業務形態に大きな影響を与えたのは不動産バブルであった。バブル期以降は建設産業全体に発注量が減少したため、ゼネコンの受注競争が激化が鉄骨製造業にも大きな影響を与え、ゼネコンの現場業務においても大きな変化が起きた。すなわちゼネコンの現場管理者の不足と品質管理などの業務強化による合理化のために、鉄骨生産分野に情報技術を積極的に導入するようになった。

このような社会的変化により、大規模な鉄骨ファブは、鉄骨生産システムにおいてゼネコンで行われてきた鉄骨生産の各工程や二次部材専門業者との調整などの役割を一部補完することになった。その結果、大規模な鉄骨ファブは、バブル期以前の相互依存性が少ないモジュラー型から相互依存性の高いインテグラル型に移行した⁵⁾。それにより鉄骨ファブは自社の生産業務以外に関係者への情報提供や業務調整などの役割が次第に増える傾向にある。

(2) 研究の目的

以上のような背景から、本章では各鉄骨工事における設計変更の発生構造と問題点を明らかにすることを目的とし、具体的には以下の二つを目的とする。

- ① 鉄骨工事における品質確保の仕組みの変遷過程、多様化されている日本の建築プロジェクトにおける鉄骨生産体制の実態を明らかにし、その問題点を検討する。
- ② 実質的に鉄骨生産と設計変更対応業務を担当する鉄骨ファブの鉄骨生産業務の実態を明らかにし、その問題点を検討する。

(3) 研究の方法

建築プロジェクトにおける鉄骨生産体制と品質確保の仕組みを把握するために、鉄骨工事に関する既往研究、文献、建設関連データに基づき、鉄骨生産体制と鉄骨工事における品質確保の仕組みの形成過程及び、事例調査に基づいて多様化されている鉄骨生産体制の実態を明らかにする。

また、実質的に鉄骨生産と設計変更対応業務を担当する鉄骨ファブの鉄骨生産業務を明らかにするために、鉄骨生産業務を一貫して担当している大規模な鉄骨ファブの鉄骨生産業務を分析し、設計変更対応業務に関わる問題点と改善課題を考察する。

2.2 鉄骨工事における品質確保の仕組み

最近 20 年間、建築基準法などの法基準の改正により建築プロジェクトの品質確保の仕組みが徐々に強化されてきた。その中で鉄骨生産に大きな影響を与えた注目すべき変化として 1995 年の「阪神淡路大震災」と 2005 年に発生した「構造計算書偽装事件」がある。

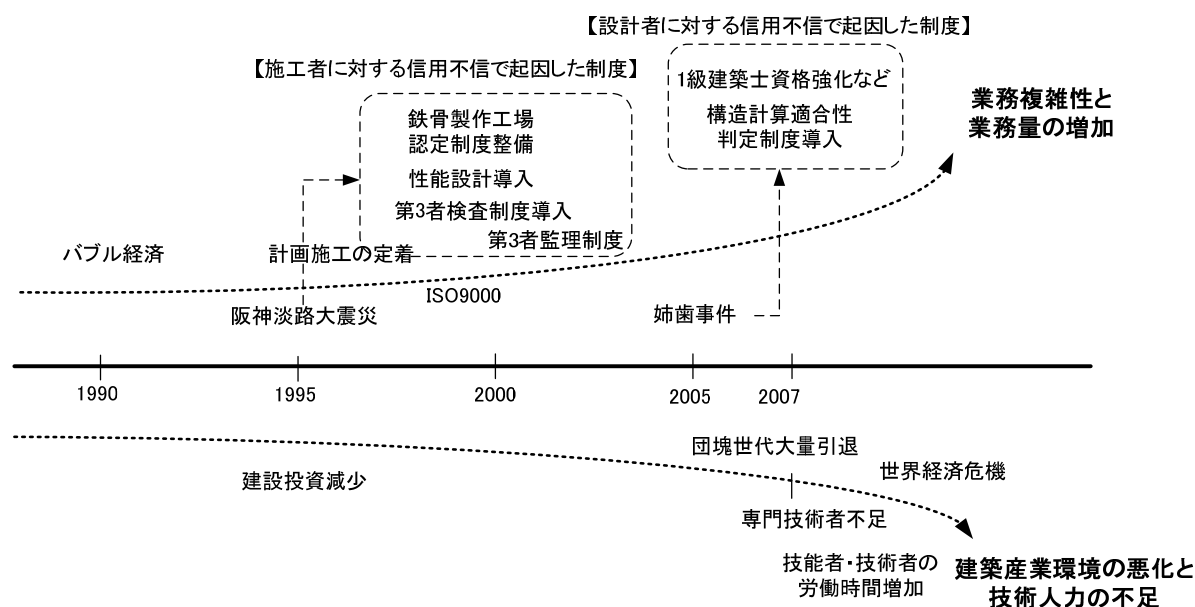


図 2-2 日本の社会変化と鉄骨工事における品質確保の仕組みの変化

(出所：資料調査に基づいて筆者作成)

「阪神淡路大震災」の発生後、調査によって鉄骨造建築物の構造的な問題が報告された。特に、鉄骨造建物の接合部などの不良溶接による破断が報告されて鉄骨製造方法に関する大幅な改革が行われた。つまり、現場での溶接品質の確保が主に検討されて、鉄骨製作に関する全ての溶接を鉄骨工場で行うことによりゼネコンと鉄骨工場の品質管理業務が強化された。その結果、ゼネコンは鉄骨製品の現場溶接を最小化し、すべての鉄骨の仕様を事前に決定して鉄骨工場で溶接作業が行われるように再編した。また、鉄骨工場については、関連団体が自主的に認定してきた「鉄骨製作工場認定制度」を国が一つの認証基準に統一して鉄骨製作工場の資格制度を整備した⁶⁾。さらに過去に監理者に依存してきた鉄骨製品の検査業務がゼネコンの製品中間検査と第三者検査者によって行われるようになった。また、梁と柱の接合部の現場溶接に対しても第三者検査者が検査を行うようになった。さらに 2005 年には「使用鋼材証明制度」が導入され、溶接だけでなく、使用鋼材に対しても鉄骨製造過程を通じて証明がおこなわれるようになっている⁷⁾。

このような一連の措置は、鉄骨製品の品質を確保するために、鉄骨製作および施工管理業務を強化した結果であった。しかし、ゼネコンの立場から見ると、施工管理の業務量が大幅に増加し、構造図、総合図、施工図に至る鉄骨図面の詳細化過程で図面情報の整合性の確保が重要な課題となっている。

一方、2005 年末に日本列島を震撼させた事件があった。それまで日本人の相互信頼中心の取引慣習では想像できなかった耐震設計構造計算書を偽装した事件が発生した。設計者の信頼が墜落した事件で、もう設計者の設計を信じられないという不信感が広がるようになった。これに対する学界の検討を経て、政府は、「構造計算書適合性判定制度」の導入を決定し、2007 年 6 月に全面的に実施した。その結果、建築確認の審査期間が延長されて 21 日から 35 日になり、さらに詳細な構造審査が必要な場合は 70 日間審査を行うことになった⁸⁾。また、構造一級建築士、設備一級建築士などの一級建築士制度の資格を強化し、建築士事務所には資格保有者を雇用するようにして、資格のない建築士事務所は適合性判定を受けることができないなどの資格と審査条件も強化された。

このような、品質確保の仕組みの変化は設計者やゼネコンにおいて工期とコスト管理に大きな負担になっている。2008 年の日経アーキテクチャの調査結果では、工期に影響を与える要因として 119 人の回答者の中で 61.3%が 2007 年の建築基準法による確認申請を指摘した⁹⁾。以上の二つの事件は施工者に対する信用不信と設計者に対する信用不信に起因した鉄骨生産体制の変化であり、図 2-2 に変化過程、図 2-3 にその体制の変化を整理して示す。

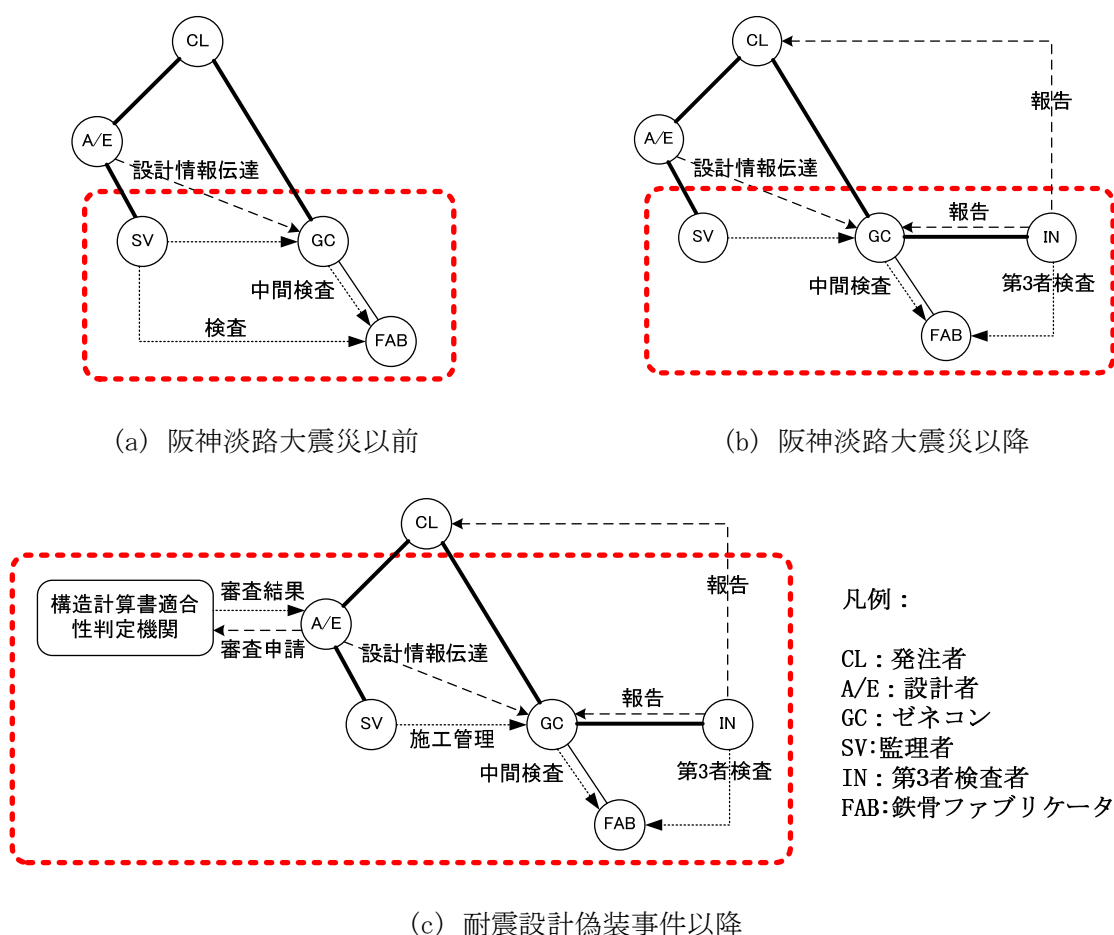


図 2-3 鉄骨工事における品質確保の仕組みの変化

(出所：調査に基づいて筆者作成)

2.3 建築プロジェクトにおける鉄骨生産体制

鉄骨生産体制は、主に設計者、監理者、元請け、鉄骨製作工場(鉄骨ファブ)、2次下請けの5者により構成される¹⁰⁾。それらの協力が極めて重要である。さらに、その体制では5者だけではなく、商社や第3者検査者なども関与する。

特に、鉄骨生産は分業化が進み、企業規模など様々な要因から多様な業務形態を構えるようになっている。例えば、中小規模の鉄骨ファブでは、専門工事業者として自らの業務分野に専念する企業と、他の企業とのネットワークを通じて業務を展開する商社的な企業への分化が進んでいる。一方、大規模な鉄骨ファブでは、建築プロジェクトの鉄骨生産業務の全ての過程を担当している。

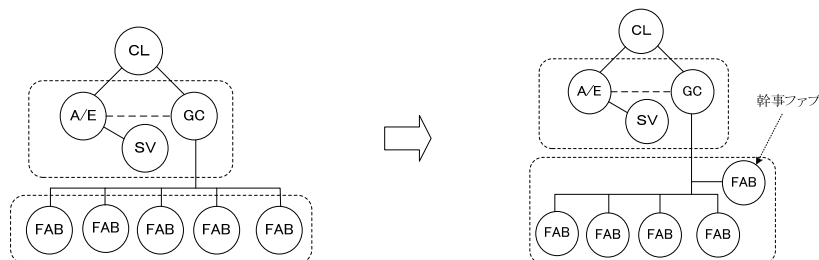
ここでは、鉄骨工事を管理するゼネコンと鉄骨生産を担当する鉄骨ファブを中心に、大規模な鉄骨工事、中小規模な鉄骨工事における鉄骨生産体制の差異を比較して、鉄骨生産体制の実態を検討する。

2.3.1 大規模な鉄骨工事における鉄骨生産体制と役割分担（事例分析）

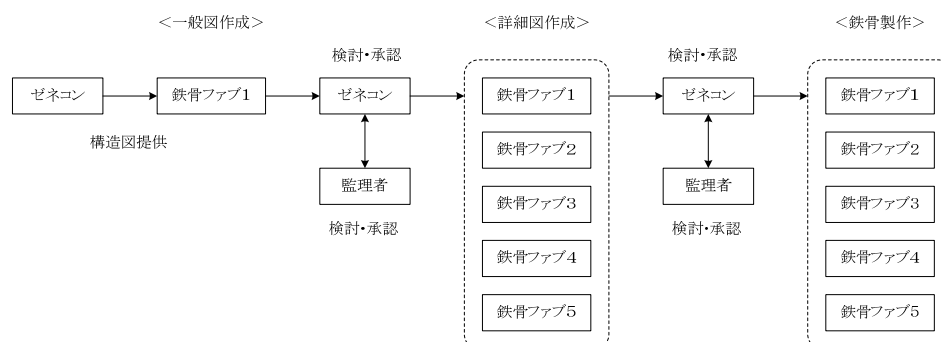
大規模な鉄骨工事における鉄骨生産体制と役割分担を検討するために、大手ゼネコンが行った五つの鉄骨生産プロジェクトを選び、組織構成や業務フローを比較して分析する。

ただ、CL:発注者、A/E:設計者、GC:ゼネコン、FAB:鉄骨ファブ、SV:監理者、CMr:CMマネージャー

【事例A】設計施工一括



(a) 鉄骨生産体制



(b) 鉄骨製作図の作成過程

図 2-4 事例 A の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所: 調査に基づいて筆者作成)

事例 A は、設計施工一括方式で行われた高層ビルプロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 1 万トンの事務用ビルである。鉄骨工事における特徴としては、5 社の鉄骨ファブが分担して鉄骨を生産したが、その中の一つの鉄骨ファブが幹事ファブとして一般図を作成し、その後工作図の作成においては各ファブが自らの生産分に関する図面を作成した。その結果、設計変更が発生した場合、同じ業務フローで図面を検討しながら変更に対応した。

事例 A の鉄骨生産体制および鉄骨製作図の作成過程を整理して図 2-4 に示す。

【事例 B】設計施工一括

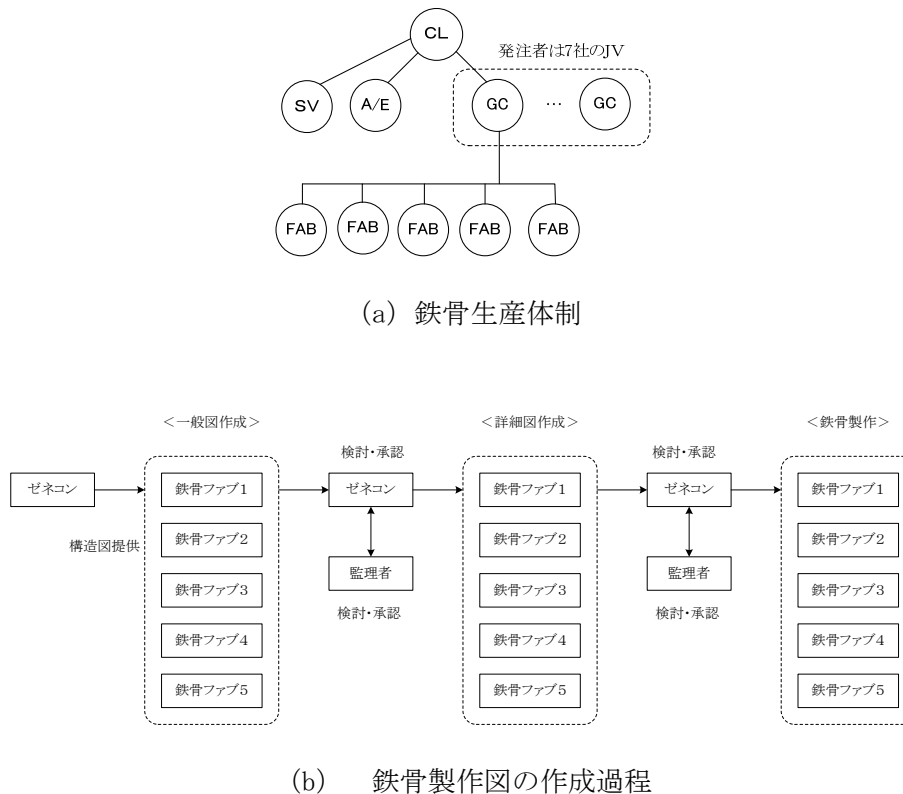


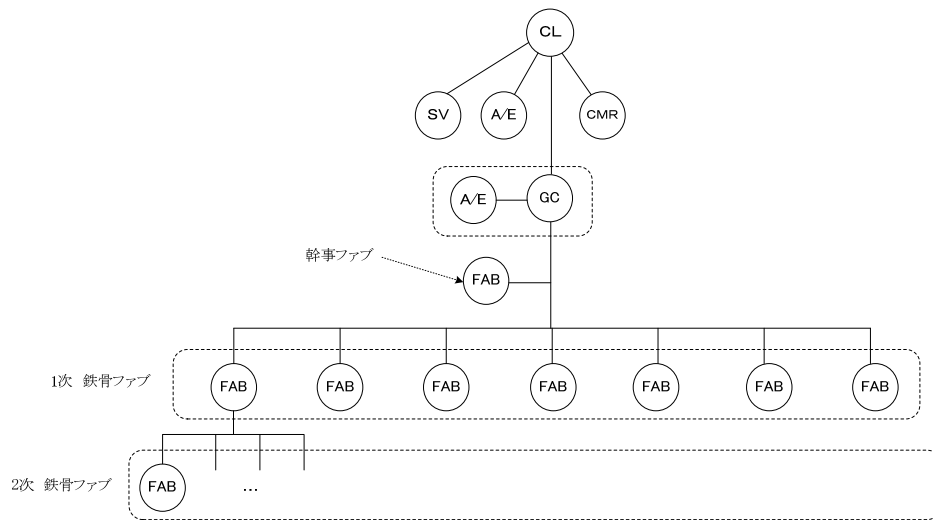
図 2-5 事例 B の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所：調査に基づいて筆者作成)

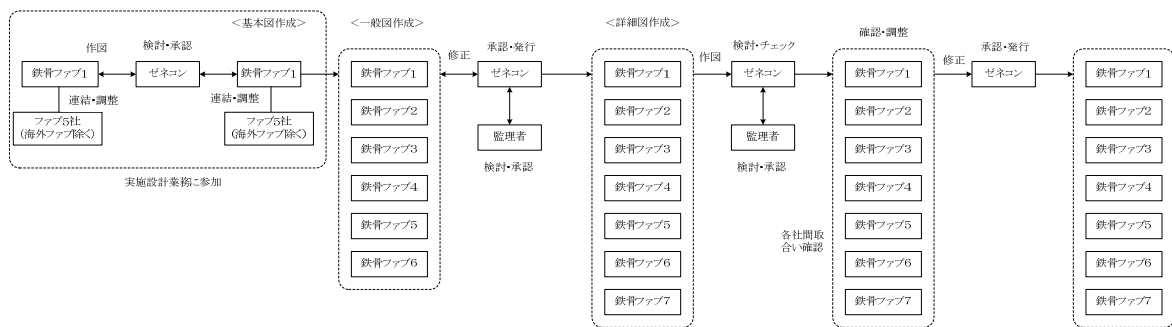
事例 B は、設計施工一括方式で行われた高層ビルプロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 6,000 トン程度の官庁である。鉄骨工事における特徴としては、5 社の鉄骨ファブが鉄骨生産を分担して一般図と工作図の作成、鉄骨製作を行った。しかし、施工者が 7 社のゼネコンの JV (Joint Venture) であったため、設計変更が発生した場合、その業務の調整が困難になる場合が多い。

事例 B の鉄骨生産体制および鉄骨製作図の作成過程を整理して図 2-5 に示す。

【事例 C】設計施工分離



(a) 鉄骨生産体制



(b) 鉄骨製作図の作成過程

図 2-6 事例 C の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所：調査に基づいて筆者作成)

事例 C は、設計施工分離方式で行われた大規模な建築プロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 4 万トン近いの研究施設である。鉄骨工事における特徴としては、24 社の鉄骨ファブが鉄骨生産に参加し、一次ファブ 7 社が一般図と工作図の作成、一部の一次ファブと二次ファブ 17 社が鉄骨製作を担当した。

特に、このプロジェクトの場合、短期間に大量の鉄骨を生産するために、多様な鉄骨ファブが鉄骨生産を分担したため、幹事ファブが業務調整を行った。また、鉄骨生産に関する図面作成に一部の鉄骨が実施設計段階から参加した。

事例 C の鉄骨生産体制および鉄骨製作図の作成過程を整理して図 2-6 に示す。

【事例 D】設計施工分離

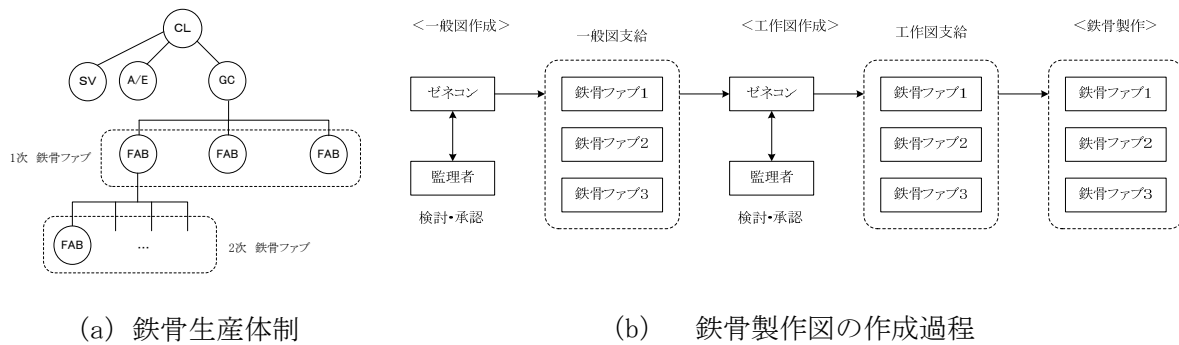


図 2-7 事例 D の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所：調査に基づいて筆者作成)

事例 D は、設計施工分離方式で行われた高層ビルプロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 2.6 万トン程度の事務所と商業用ビルである。鉄骨生産については鉄骨ファブ 3 社が分担して鉄骨を生産したが、図面作成はゼネコンが行った。その理由は、工事着工の遅れにより、スケジュール管理をする必要があるためであった。その結果、少なくとも鉄骨製作の途中に設計変更が発生した。

事例 D の鉄骨生産体制および鉄骨製作図の作成過程を整理して図 2-7 に示す。

【事例 E】設計施工一括

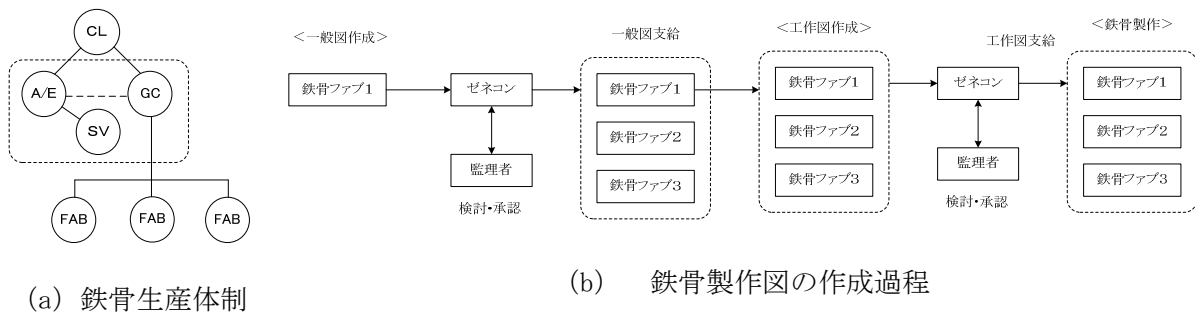


図 2-8 事例 E の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所：調査に基づいて筆者作成)

事例 E は、設計施工一括方式で行われた事務所ビルプロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 1.1 万トンである。鉄骨生産は鉄骨ファブ 3 社が分担して行ったが、一般図は一社の鉄骨ファブが作成し、工作図はゼネコンの承認後に一般図に基づいて各鉄骨ファブが自らの生産分の工作図を作成した。この事例は、設計変更の発生件数が少なく、円滑に管理されたプロジェクトと考えられるが、それが図面作成と直接に関係あるかを検討するためには詳細な分析を要する。

事例 E の鉄骨生産体制および鉄骨製作図の作成過程を整理して図 2-8 に示す。

2.3.2 中小規模な鉄骨工事における鉄骨生産体制と役割分担(事例分析)

一方、中小規模な鉄骨工事は中堅ゼネコンが行うことが多い。通常、中堅ゼネコンは数百トン程度の鉄骨を使用するプロジェクトを受注し、その鉄骨生産においては、ほとんど一社の鉄骨ファブが生産を担当する。しかし、中堅ゼネコンは直接に鉄骨ファブと契約することではなく、一般に商社との契約を通じて鉄骨を生産・調達している。その理由は、鉄骨は建築材料の中で特に価格が高いものであり、その生産に問題が発生すればリスクが大きいためである。そのため、中堅ゼネコンが行う中小規模な鉄骨工事では、工作図の作成と鋼材の調達が大規模な鉄骨工事と異なる。

従って、ここでは、中堅ゼネコンが構築している鉄骨生産体制を把握するために、三つの鉄骨工事を選び、鉄骨生産体制とその業務を比較分析する。下の図 2-9 は分析対象とした鉄骨工事の規模を示したものである。

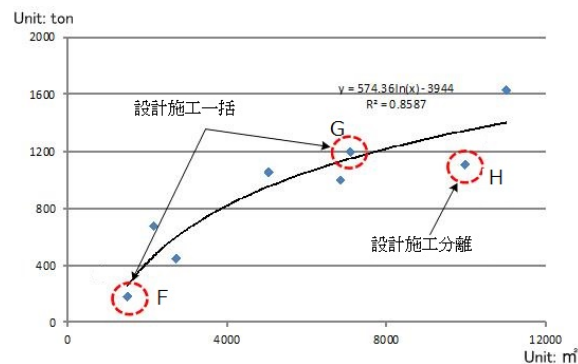
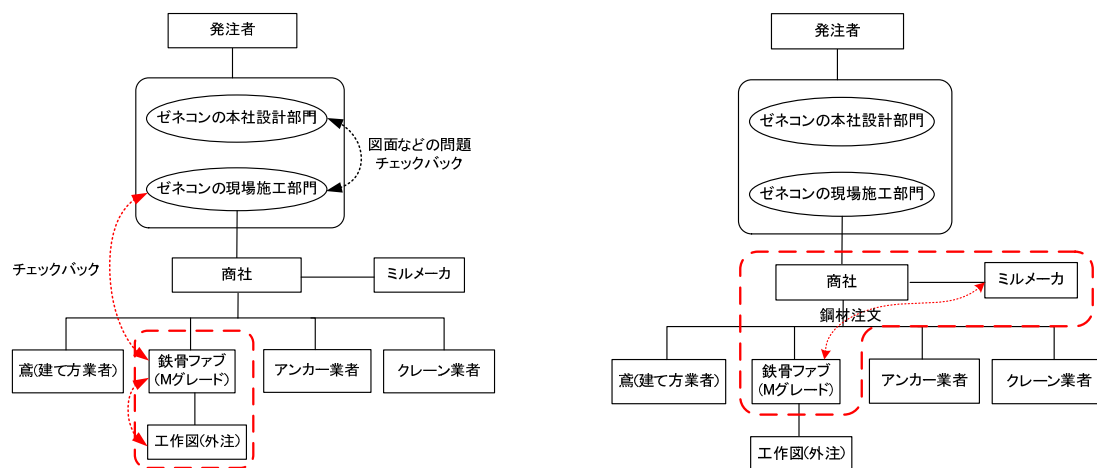


図 2-9 調査した中小規模な鉄骨生産プロジェクトの規模(鉄骨使用量・延床面積)

(出所：調査に基づいて筆者作成)

【事例 F】設計施工一括



(a) 鉄骨生産体制：工作図作成

(b) 鉄骨生産体制：鋼材調達

図 2-10 事例 F の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所：調査に基づいて筆者作成)

事例 F は、設計施工一括方式で行ったプロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 200 トン程度の小規模な建築プロジェクトである。鉄骨ファブの選定を含めて鉄骨生産体制の構成には商社が関与したが、鉄骨生産に関わる全ての実務はゼネコンと鉄骨ファブの間で行われた。このプロジェクトは、M グレードの鉄骨ファブ 1 社が鉄骨生産を担当したが、図面作成の能力を持っていなかったその鉄骨ファブは、図面作成業務を外部の専門設計事務所に外注した。また、鋼材の調達については、鉄骨ファブが商社を経由してミルメーカーに注文して調達した。

事例 F の鉄骨生産体制、並びに工作図作成と鋼材調達を整理して図 2-10 に示す。

【事例 G】設計施工一括

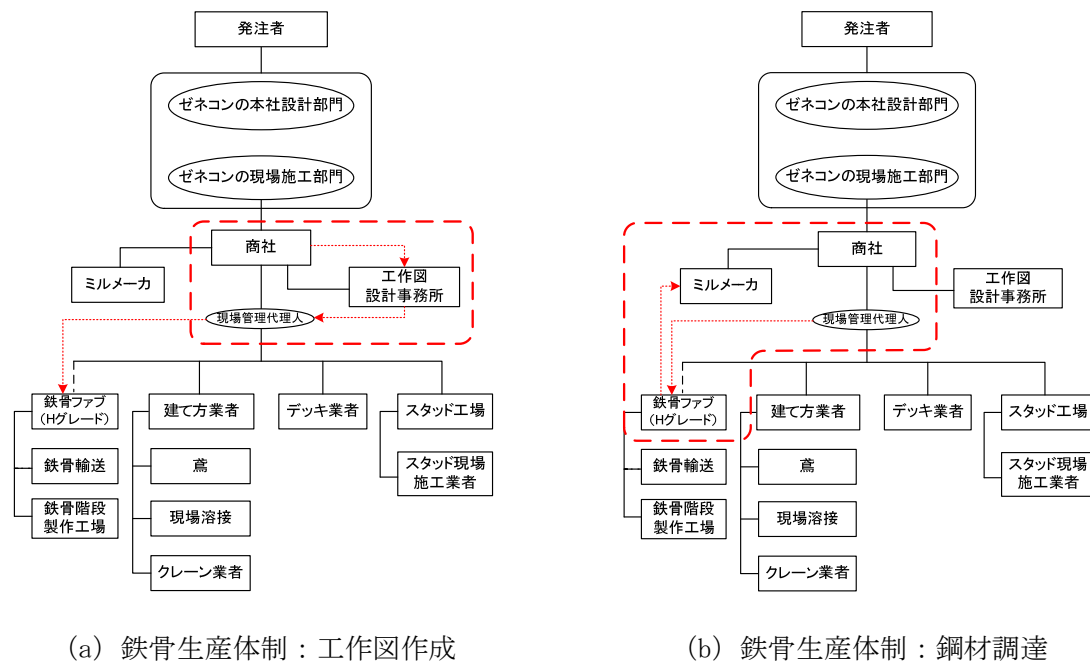


図 2-11 事例 G の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所：調査に基づいて筆者作成)

事例 G は、設計施工一括方式で行われたプロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 1,200 トン程度の中規模な建築プロジェクトである。鉄骨生産は H グレードの鉄骨ファブ 1 社が担当したが、商社が派遣した現場代理人が全ての鉄骨生産業務に関与した事例である。さらに図面作成業務を外部の専門設計事務所に外注し、鋼材調達は鉄骨ファブが商社を経由してミルメーカーに注文して行われた。事例 G の鉄骨生産体制、並びに工作図作成と鋼材調達を整理して図 2-11 に示す。

【事例 H】設計施工分離

事例 H は、設計施工分離方式で行われたプロジェクトであり、総鉄骨使用量が約 1,100 トン程度の中規模な建築プロジェクトである。鉄骨生産は H グレードの鉄骨ファブ 2 社が図面作成と鉄骨製作を分担したが、これは発注者からの要求によって二つのファブが鉄骨生産に参加した特殊な事例である。また、鋼材調達は鉄骨ファブが商社を経由してミルメーカーに注文して行われた。

事例 H の鉄骨生産体制、並びに工作図作成と鋼材調達を整理して図 2-12 に示す。

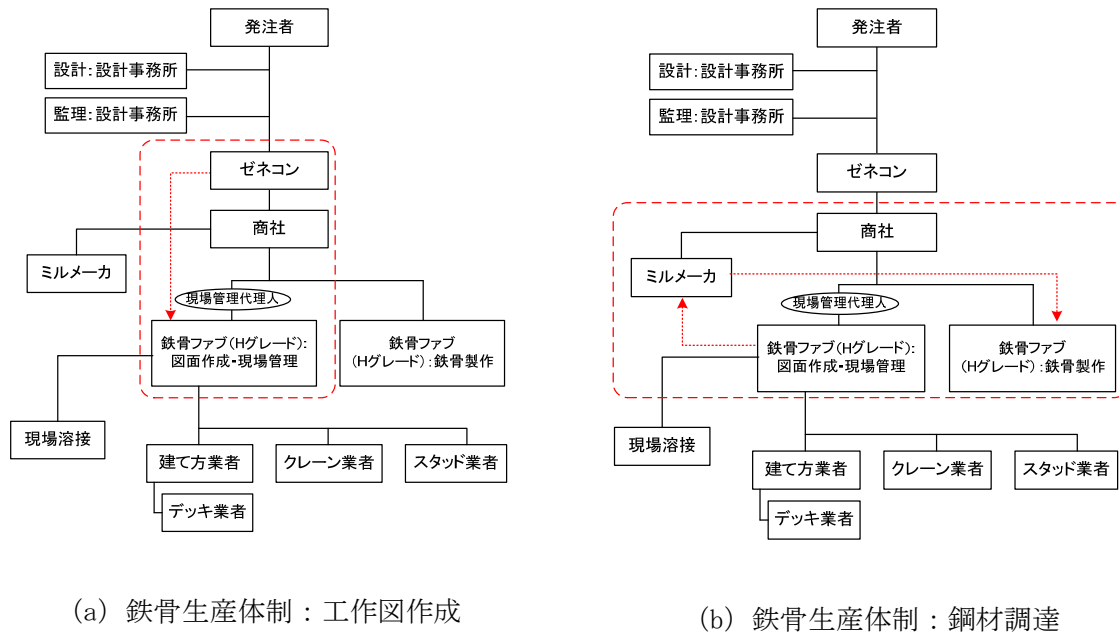


図 2-12 事例 H の鉄骨生産体制と主要な業務フロー

(出所：調査に基づいて筆者作成)

(3) 鉄骨生産体制と役割分担に関する考察

鉄骨生産体制と役割分担を明らかにするために、中小規模な鉄骨工事と大規模な鉄骨工事に分けて事例分析を行った。その結果、鉄骨生産体制は工事の規模が大きくなると複数の鉄骨ファブが鉄骨生産に参加して業務の複雑性が高くなるため、幹事ファブが鉄骨生産業務の調整を担当する場合もあることが分かった(事例 A、C)。一方、中小規模な鉄骨工事の場合、一般に鉄骨ファブ一社が鉄骨生産を担当した。しかし、工作図の作成においては、鉄骨ファブが作成するケースと専門設計社に外注するケースがあり、その決定は商社が関与している。以上より、各プロジェクトの図面作成と鋼材調達に関する業務に大きな差があることが明らかになった。とくに設計変更と強い関係ある図面作成に関する役割分担関係に関する調査結果を整理して表 2-1 に示す。

また、各事例に対する設計変更の発生実態を把握するために、各事例の担当者にヒアリングを行った。その結果、中小規模な鉄骨工事には一般にロール材を使い、主要部材に関する変更は少ないが、仮設などに関する小さな変更は発生していることが明確になった。また、大規模な鉄骨工事では、ビルトアップ鉄骨を使い、鉄骨生産量が多いため設計変更も数多く発生している。特に、設計施工分離の場合、ゼネコンが設計者から図面を入手して検討する時間が足りないため図面検討の不足問題から設計変更が発生することがあったが、これについては詳細な調査が必要である。

以上の分析結果、鉄骨使用量が多い大規模な鉄骨工事は多様な関係者が鉄骨生産業務に関与し、業務の複雑性が高いため設計変更が数多く発生していることが明らかになった。つまり、鉄骨生産体制の複雑性と設計変更の発生は強い関係があるという意味であるが、このような検討結果を証明するためには、発注方式の差異からの影響、図面作成や鉄骨製作などの業務を考慮して細部的な分析を要する。

表 2-1 事例調査の結果：図面作成に関する役割分担関係の分析

区分		構造図	一般図	工作図
大手 ゼネコン	事例 A	ゼネコン	鉄骨ファブ	鉄骨ファブ
	事例 B	ゼネコン	鉄骨ファブ	鉄骨ファブ
	事例 C	設計者	鉄骨ファブ	鉄骨ファブ
	事例 D	設計者	ゼネコン	ゼネコン
	事例 E	ゼネコン	鉄骨ファブ	鉄骨ファブ
中堅 ゼネコン	事例 F	ゼネコン	工作図専門設計事務所 (ファブ発注)	工作図専門設計事務所 (ファブ発注)
	事例 G	ゼネコン	工作図専門設計事務所 (商社発注)	工作図専門設計事務所 (商社発注)
	事例 H	設計者	鉄骨ファブ	鉄骨ファブ

※一般図：伏図、部材リスト、軸組図、アンカー伏図

※工作図：継手基準図、溶接基準図、各種基準図(梁貫通図・ファスナー図など)、柱詳細図、柱詳細図、プレス図など

2.4 鉄骨ファブの鉄骨生産業務分析(M社の事例分析)

大規模な鉄骨ファブには、自社の鉄骨生産業務を効率的に管理し、ゼネコンおよびプロジェクト関係者との業務協力を支援する情報一貫管理システムの開発が求められている。しかし、鉄骨生産に関わる発注者・設計者・施工者・鉄骨ファブのプロジェクトに対する立場はそれぞれ異なり、自らのシステムを開発する際に必要となる情報や機能などは異なる。従って、鉄骨ファブの情報管理システムの開発においても、開発の方法やシステムの構成に関して独自で開発してよいのか、また、プロジェクト関係者との協議をするほうが効果的かなど根本的な検討を要する。

しかし、今までの建築生産における情報交換・共有などに関する既往研究には、管理情報を中心とした情報交換・共有の検討¹¹⁾、全ての情報を統合する情報システムの概念¹²⁾、WEBシステムを通じて情報を伝達する方法研究¹³⁾などの情報伝達手法に関する研究などが行われたが、鉄骨ファブを含む情報システムの開発・運営を考慮し、そのシステムの基準やモデルを提示したものは少ない。また、鉄骨ファブと協力するため見積システムの活用¹⁴⁾、構造 DBCAD の活用¹⁵⁾の研究があるが、情報技術活用に関する大半の研究は、建設現場の管理を中心とした研究である^{16)~18)}。即ち、鉄骨ファブの業務とプロジェクト関係者の業務との連携等に焦点を当てた研究は少数のため、システム開発に際しては、それらを考慮した鉄骨生産全体を取り扱う必要がある。

従って、ここでは一連の鉄骨生産業務全体を自社内で行っている鉄骨ファブ(以下、M社と呼ぶ)を調査し、鉄骨生産と情報活用の現状を明らかにする。また、鉄骨ファブの業務を合理化する方法として、鉄骨の生産情報を一貫して管理し、効率的に交換・共有する方法を検討するために、M社の鉄骨生産業務と、M社のバーコード基盤の業務情報システムを詳細に調査分析した結果を報告し、鉄骨生産における情報一貫管理システムの開発課題を明らかにする。

2.4.1 鉄骨ファブの鉄骨生産業務

海外に工場を置くM社の業態は一般的な鉄骨ファブと異なり一般解とは言えないが、社外分業に依らず一連の鉄骨制作業務を自社内で行っていることから業務の全体像を把握しやすい。また、日本向けの鉄骨ファブとして情報システムの活用積極的に取り組んでいる会社に分類される²⁾。例えば、自社の業務の効率的な管理のため、バーコード基盤の情報管理システムを開発し、厚板と鉄骨製品の管理に適用している。しかし、現在M社は社会的な変化や業務範囲の拡大に対応するために、まずは自社の業務範囲内での業務支援機能を改善し、次にゼネコンなど外部組織との情報交換・共有などに対応できる機能を開発することを目指している。

図 2-13 は調査により把握した鉄骨製作プロセスを具体的に示したものである。その中で①、③、④の部分は、既にバーコードを導入して実務に活用している部分であり、②の部分は現在、バーコードの導入を検討している部分である。

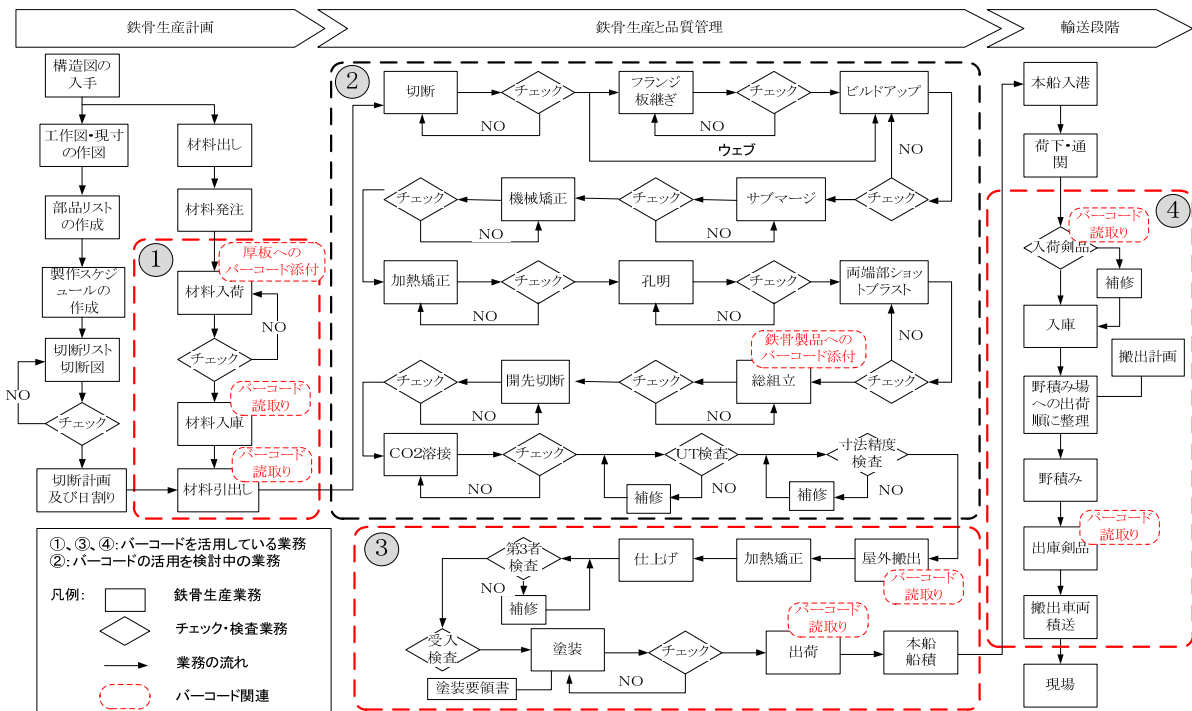


図 2-13 鉄骨生産プロセス：大梁

(出所：M 社の資料と調査に基づいて筆者作成)

(1) 鉄骨生産計画

鉄骨製造業は代表的な受注生産形態の産業である。一般に日本の製造業の製造業務管理には MRP (Material resource planning 又は Manufacturing resource planning) システムが使われている。MRP は 1960 年代から利用されるようになったが、部品表と生産日程計画に基づいて必要な部品の供給と作業指示をコントロールするもので、鉄骨生産にも利用されている。鉄骨生産に関与する情報は生産情報と管理情報に区分することができる¹⁹⁾²⁰⁾。例えば、生産情報(図 2-14-(b))では、工場内の作業者が鉄骨を製作する時に良く使われる情報として工作図・現寸・製品リスト・切断図などがあり、工作図は溶接部などの詳細を追加、又は拡大して完成し、現寸図は必要な場合のみ CAD で作成する。図面類は必ずゼネコンの承認を取って活用している。また、製品リストや切断リストなどは図面分析を通じて必要な情報を抽出して作成する。

一方、管理情報(図 2-14-(c))では、鉄骨製作に関する生産日程計画と生産情報の作成などにより業務を管理する。M 社の場合、期間別の年間・毎月・毎週の生産日程計画、毎日の作業量を決めた作業指示までの体系的な細部計画があり、それに基づいて工場内の作業グループの業務をコントロールする。しかし、全ての生産情報と管理情報がゼネコンからの構造図・プロジェクトのスケジュール・仕様書など(図 2-14-(a))の情報に連動しているため、鉄骨ファブが独自に変更することは不可能であり²⁰⁾、また、設計変更が発生した場合、全ての情報類に関して様々な検討と各組織の業務を的確に調節することが重要な課題である。図 2-14 は M 社の鉄骨生産計画の情報の流れを整理したものである。

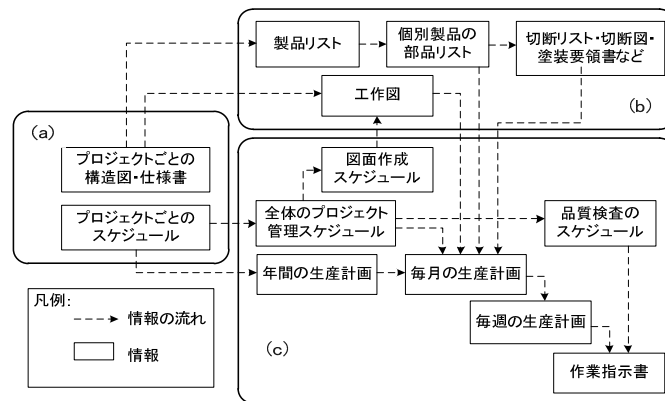


図 2-14 M 社の鉄骨生産計画の情報の流れ

(出所：調査に基づいて筆者作成)

(2) 鉄骨生産ライン

鉄骨生産ライン（図 2-13 の②の範囲）の調査については、一つの鉄骨製品を選び、製作過程や情報活用などに関する現況を把握した。鉄骨製品の製作業務では、切断・ビルドアップ・総組立・サブマージ溶接・CO2 溶接などがあり、作業者が各業務の結果を自らチェックする業務もある。このチェック業務とは、QA(Quality assurance)部門の品質検査とは別に、各作業者が行う検査として、鉄骨製品の品質確保に基本となる重要な業務の一部である。それを含んだ鉄骨製作過程は、生産ラインの形態になっていることが一般的であり、大規模な鉄骨ファブは全ての業務が連続的に行われている。

また切断後には、各部品の番号や寸法などに関する様々な文字や数字情報が各小物部品の表面に表記され、各作業者が部品表面の情報に基づき、必要な部品を探す。同様な形態の部品の場合でも色分けで該当プロジェクトを区別している(図 2-15-(a))。

その書き方の基準は鉄骨注文者に提出する「工場製作要領書」に定義されている。また、切断結果は文書として記録に残し、鉄骨製品のトレーサビリティ管理に活用する(図 2-15-(b))。また、業務実績と進捗管理に関しては、基本的に業務記録を用いて把握するが、大きな問題が発生した場合には、各グループリーダーが工場管理者に直接報告して対応する。調査した M 社では、工場内に 50 個の作業グループが存在するため、業務量の適切な分担や生産情報の伝達、業務実績の把握などが重要な管理項目となっている。



(a) (b)
図 2-15 部品表面の表記と業務記録整理作業

（３）品質管理

品質検査を行う本質的な目的は、鉄骨の目標性能又は計画性能が確保されているかを確認することであるが、鉄骨生産に係わる各関係者の立場によって、品質検査の方法と範囲が異なっている。また、時間・コストなどの現実的な面を反映し、抜き取り検査とする場合もある。

鉄骨製品の品質検査を検査主体により区分すると、①施工者の受入検査、②専門家による発注者を代行する第三者検査、③鉄骨ファブの品質検査に分けられる。特に第三者検査は、指定専門会社の検査専門技術者が検査し、その結果を発注者に報告するため、検査の客観性が高い。表 2-1 は鉄骨工場で実施されている検査種類を要約したものである。

一方、鉄骨ファブは、注文に対して図面通りに鉄骨を製作しているか否かを確認するため、品質検査を行う。調査した M 社の場合、品質管理者が行った検査記録を集め、毎月プロジェクトごとの品質管理の結果報告書を作成し、工場内の各作業グループの鉄骨製作業務を評価することにより、品質向上をはかっている。

表 2-2 M 社による鉄骨製品の品質検査

検査者		検査方法	検査対象
施工者(受入検査)		鉄骨製品の外観検査 鉄骨製作能力のテスト トレーサビリティ管理	サンプル部材
発注者(又は設計者) (第 3 者検査)		外観検査 溶接部の放射線検査	抜取部材 (10～30%)
鉄骨ファブ	作業者の自主検査	部品・鉄骨製品の 外観検査 寸法精度検査 溶接接合状態の確認	全数検査
	品質管理者(QA)	溶接部位の UT 検査, 寸法制度検査	全数検査
	輸送・保管時の検査	船積・運送中に発生した傷を港到着後に外観検査し補修・再製作	全数検査

(出所：調査に基づいて筆者作成)

（４）輸送管理

鉄骨輸送は一般に鉄骨製品の生産節(ロット)又は現場の建方節を単位とし、現場の工事スケジュールによって輸送計画を作成・調整する。調査した M 社は重量 2～3 トンの小梁から 10～18 トン以上のボックス柱などの多様な鉄骨製品を生産し、工場のストックヤードから日本の現場までに運ぶ。輸送期間はほとんどの場合、製作完了後から日本の現場まで 1 カ月を要している。

輸送業務では、クレーン、トラック、船などの手段を使用している。そして輸送業務では自社以外の外部組織が関与するため、情報伝達・業務調節・輸送状態の把握などが大きな課題となっている。また、輸送中に波浪や台風などによって鉄骨製品を傷つける場合があるため、日本側のストックヤード管理者は外観検査を行い、場合によって補修又は再製作を決める。

（５）ストックヤードにおける管理業務


M 社でのストックヤード管理は、厚板（材料）と鉄骨製品の管理に分ける事ができる。厚板用のストックヤードは管理の便宜のため敷地を格子状に分け、各厚板にバーコードを添付して管理している。一方、鉄骨製品用のストックヤードはクレーンの能力と鉄骨製品の重さを考慮して保管位置を決めている。鉄骨製品を保管・移動する時には、各据置架台に付けたバーコードを用いて位置を登録する。また、日本側のストックヤードでは鉄骨製品の山積みをする際に現場からの搬出順序に従って整理する。各ストックヤードはバーコードと端末機を通じて運用され、データベースとリアルタイムに連動している。

2.4.2 M 社のバーコード基盤の厚板と鉄骨製品管理システム

調査を行った M 社は厚板と鉄骨製品の管理にバーコードを使っているが、各バーコードの外観と入力情報は異なる。また、工場側と日本側の鉄骨製品管理に同じバーコードを活用しているが、管理システムおよび端末機は別々に開発されたものを使っている。従って全てのバーコードシステムが直接繋がっていると言うわけではない。このようなバーコードシステムが分かれている理由は、会社の成長とともに鉄骨製作に重要な業務や有形的な物の管理など、必要性の高い部分から、システムを開発したことに起因する。つまり、情報システムの導入が部分から進められた結果である。活用される各バーコードシステムに関する主要な特徴および各ストックヤード管理の特徴を整理して表 2-3 に示す。

ここでは、バーコードによる厚板と鉄骨製品の管理方法および情報の流れに関するシステムの特徴を紹介する。

表 2-3 各ストックヤード管理とバーコードの特徴比較

比較項目	厚板のストックヤードとバーコードシステム	鉄骨製品のストックヤードとバーコードシステム		日本側のストックヤードとバーコードシステム
敷地面積(m ²)	7,590	94,289		18,150
バーコードの外観		鉄骨製品のバーコード 	据置施設のバーコード 	
コードの構成	鉄鋼会社が決めた厚板一枚一枚のヒート番号	プロジェクト名、生産節 (LOT) 番号、製品タイプ、アイテム番号、図面番号	エリア、据置施設	プロジェクト名、生産節 (LOT) 番号、製品タイプ、アイテム番号、図面番号
バーコード表面の表記内容	ヒート番号、厚板仕様、厚板種類	図面番号、製造者名	据置施設の番号 エリア名	図面番号、製造者名

（出所：調査に基づいて筆者作成）

（１）厚板管理バーコードシステム

鉄骨製作では様々な材料が用いられるが、特に厚板はトレーサビリティ管理が必要性の高い重要な材料であり、鉄鋼会社が鉄骨ファブからの注文を受けて生産することが一般である。調査した M 社の場合、厚板を効率的に管理するために、厚板一枚ごとにバーコードを添付し、ストックヤード管理システムと無線端末機を繋げて活用する。そのバーコードのコード構成については、鉄鋼会社が決め、各厚板に付与された製造番号(以下、ヒート番号)が用いられ、鉄骨ファブはヒート番号を活用し、どの厚板を切って鉄骨を製作したかが確認できるトレーサビリティ管理体系を構成する。一般に鋼材はその製造過程において窯別に成分が異なるため、厚板の製造記録(以下、ミルシートと呼ぶ)は鉄骨性能を判断する重要な情報になっている。そして施工者らは鉄骨製作に使われた厚板一枚一枚の性能を確認しなければならない。また、ゼネコンに対するヒアリング結果でも、現場の鉄骨ファブに対する情報交換・共有の要求のなかで、生産状態や補修履歴などとともにミルシートが重要な要求項目の一つになっている。図 2-16 は、厚板管理に関する図 2-13 の①部分に対する情報や物の流れに関する全体像を表したものである。

（２）鉄骨製品管理のバーコードシステム

鉄骨製品のバーコードシステムは、多様な業務に活用される可能性を持つシステムであるが、現在では、鉄骨製品の移動と保管業務を中心として使っている。

鉄骨製品にバーコードを添付する時期は、各部品の総組立後である。つまり鉄骨の完成品の形になってから管理単位となり、熱を加える作業も終了しているため、バーコードが破損する危険も少ない。

鉄骨製品用バーコードは、基本的に工場のストックヤード並びに日本側のストックヤードで同じものを使っており、工場から鉄骨製品の出荷前、バーコードの破損・汚染を発見した場合は、新しいものに変える。鉄骨製品の出荷はスケジュール管理者からの製品目録と運送計画に基づいて行われ、数量によって 3～5 日程度要す。

日本側に到着した鉄骨製品は、まず税関の通関を受けるため、保管場に山積みする。その後、入庫の際に鉄骨製品ごとの外観状態を検査して補修と入庫を判断し、その結果はバーコード端末機を用いて記録する。端末機は無線 LAN を通じて“Access ^{注1)}” 基盤のデータベースとリアルタイムに連動している。

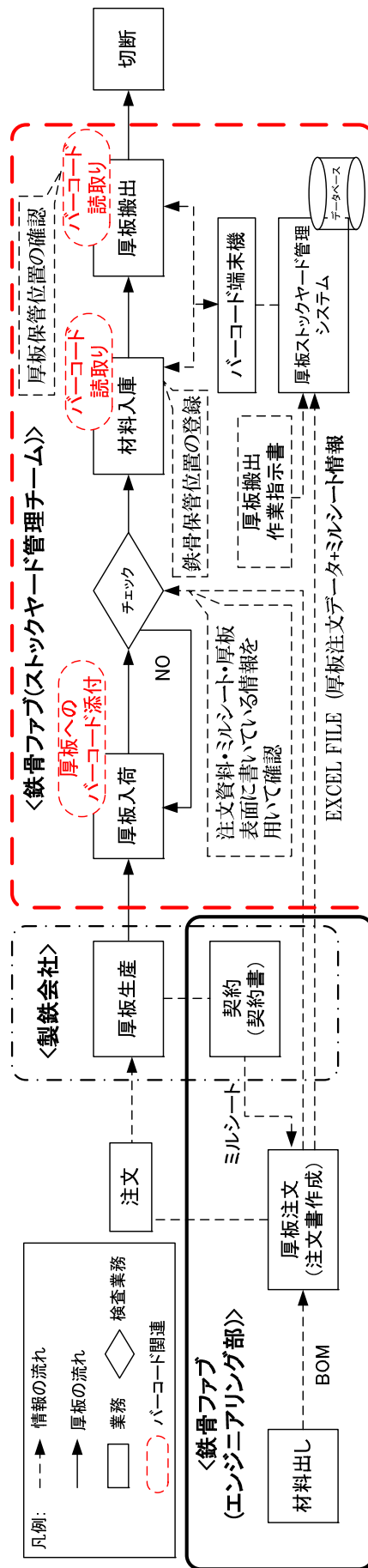


図2-16 厚板管理の全体像

(出所：調査に基づいて筆者作成)

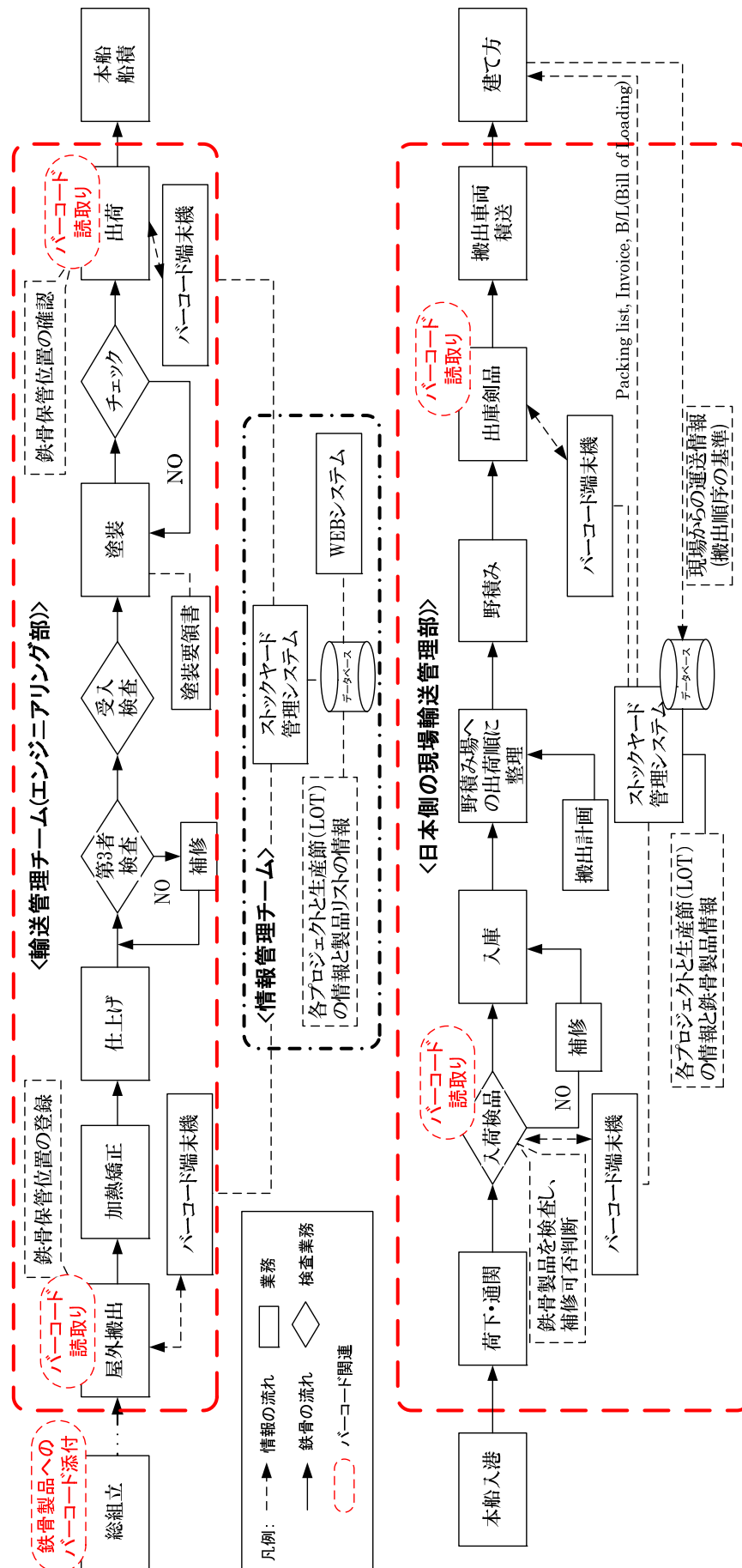


図2-17 鉄骨製品の保管と輸送の全体像
(出所：調査に基づいて筆者作成)

2.4.3 鉄骨生産に関わる情報管理システムの開発における検討課題

(1) 鉄骨生産における鉄骨ファブの情報管理の問題点

調査した M 社は情報技術を積極的に採用しているが、成長過程で優先度の高いシステムから個別に開発して来たため、情報の生産と管理の仕組みが各部門別に異なり、情報を総合的に管理することが難しくなっている。このような情報管理の問題は M 社だけではなく、鉄骨生産を含む受注生産形態の産業の問題点として指摘されてきた。また、M 社の場合、工場が外国に位置するため、作業情報も一部現地語で書かれているなど、意思疎通には言語的・物理的な障害がある。現在は工場と日本側の情報交換・共有はメール、ファイル共有、TV 会議などネットワーク技術を使っているが、それをシステム的に統合するには、予算や業務効率性などの検討を要する。その鉄骨生産における情報管理の主な問題点を情報の生産・活用・管理に分けて整理して表 2-4 に示す。

表 2-4 M 社の情報管理の問題点

区分	情報管理の問題点
情報 生産	多様な情報は複雑な過程を通じて作成・追加されるため、業務量の調節などの変更が難しい。 また、設計変更やミスが発生した際に総合的な検討までに一定の時間が掛かり、的確な意思決定も困難にする。
情報 活用	様々な情報を各部門に文書で伝えている。工場内の作業者が直接にデジタルデータを生産・活用するのではなく、取りあえず帳票に記録してから業務終了後、PCに入力する。 工場内で業務実績や作業結果などをリアルタイムにモニタリングする体系は存在していない。
情報 管理	社内の各部門は個別業務の利便性のため、重要なデータを部門別で分散管理している。 情報類の生産・活用・共有を連続的に管理・支援する総合的な体系は構築されていない。

(出所：調査に基づいて筆者作成)

(2) 鉄骨生産における情報管理システムの改善方向と開発課題

M 社は、元請からの多様な要求に適切に対応し、自社の生産ラインの合理化を図るため、鉄骨生産ラインにバーコードを媒介手段として、業務・情報・物・人(組織)を連携する MIS を構築している。

しかし、バーコードは物を認識する為のツールであり、実際にはデータベースと繋げることで業務管理ができるが、そのためには、データの種類や入力方式などに関する検討が必要である。例えば、あるバーコードを活用して自動的に厚板や生産段階のデータを PC に入力できれば、生産計画のデータと連携して業務進捗、トレーサビリティ管理などが可能となる。特にトレーサビリティ管理は会社の信頼性と関係のある業務であり、元請の受入検査の際に業務の一部として確認されるため、システムに支援出来ればより便利な機能となる。バーコードを有形なものに付けて無形な情報と連携する概念を図 2-18 に示す。しかし、実際にバーコードを導入して情報一貫管理ができるか、鉄骨生産業務の合理的な調節ができるかに関しては、別のシナリオ基盤のテストによる具体的な検討を要する。

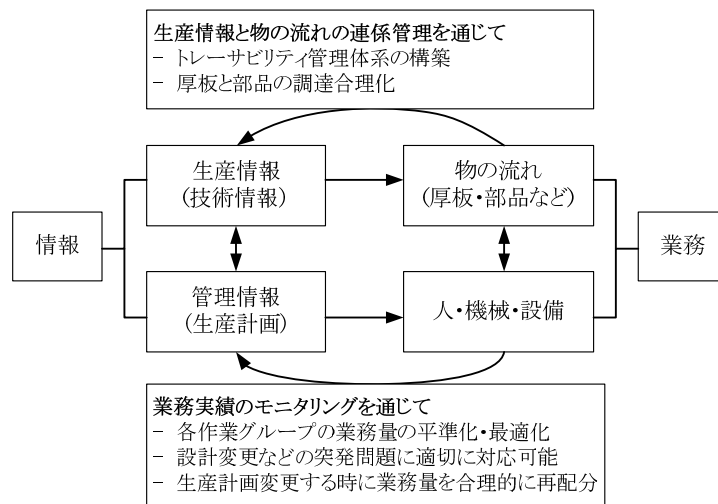


図 2-18 情報と業務の連携概念図(システムの改善方向)

図 2-18 の連携概念を完成するためには、分散された情報の統合と工場内にバーコードを導入して情報を一貫することが先決課題である。

情報統合には、単に情報を物理的に統合するのではなく、業務と情報の流れを一貫する体系を確立することが最も重要である。

また、バーコードの導入には、生産過程の中でどのようにバーコードを活用すれば、合理的な意思決定、設計変更への対応などが円滑にできるかに関する検討が重要な課題である。それを含めて、全データ種類や情報の入力方式などに関わる検討が必要となる。

具体的な MIS の開発課題を以下に示す。

- ① M 社の生産管理では、プロジェクト、生産節、生産ロット、厚板、鉄骨製品、部品など物の単位が存在しているが、それら相互の関係、および管理の単位としての業務把握や意思決定に関する検討
- ② バーコード読取りによる業務のリアルタイムな把握のために、鉄骨製品の製作業務ロジックを明確化して読取り時期の決定などシステム活用モデルの検討
- ③ 切断から総組立までは一般に高温作業が多く部品や製品にバーコードを貼付することが難しいため、バーコード以外の情報取得方法の検討
- ④ 現場では紙ベースで管理されているトレーサビリティ情報を電子的に取得・管理するシステム化の検討
- ⑤ 設計変更やスケジュール変更などの問題を詳細に分析し、その発生原因とメカニズムを明確化して、それらに対応・支援する方法の検討
- ⑥ 運用シナリオを作成し、シミュレーションを通じてバーコードの適用、システムの実運用などの全般的な妥当性の検討

（３）建設現場との情報交換・共有に関する課題

既往の鉄骨生産に関する情報関連研究の多くは、ゼネコンの立場から、現場の建て方や鉄骨調達を中心として研究されたものである。そして、最近では IC タグや BIM(Building information model)を使った材料位置の把握²¹⁾・工事の実績管理²²⁾などに関する研究がある。しかし、それらの研究は、鉄骨ファブとの協力が必要であるが、鉄骨ファブ内部の組織や業務を実証的に調査したものは少ない。

鉄骨ファブと現場が情報共有するには、ファブ内部のシステム化とゼネコン現場側のシステム化の何れも必要であるが、実際には鉄骨生産情報を効率的に管理できることが情報交換・共有の前提条件となる。まずファブ内部のシステムを完成し、次に現場と鉄骨ファブが協力できるシステムを開発するのが現実的な順序である。

鉄骨ファブと建設現場の情報共有を実現するシステムを開発するには、現場の業務と要求を詳細に把握する必要がある。また、将来的には情報媒体がバーコードから二次元バーコードや IC タグに変わる可能性もある。さらに多様な建設現場環境に適応するため端末ハードウェアや通信手段の検討も必要である。

今後の課題としては、ゼネコンとの打合せと調査を行い、情報交換・共有の要求項目を明確化することが挙げられる。

2.5 小結

鉄骨生産体制は、社会・経済的な要因によって変化してきたが、徐々にその環境は厳しくなっている。その実態を明らかにするために、事例調査に基づいて鉄骨生産体制および鉄骨工事における品質確保の仕組みを分析した。また、鉄骨生産を一括して担当している大規模な鉄骨ファブの事例分析を通じて鉄骨生産業務を詳細に分析した。

以上の結果、各建築プロジェクトは異なる形態の鉄骨生産体制を取っているため、単純に鉄骨生産体制を類型化することは不可能である。また、複雑な業務になっている鉄骨生産の途中で、設計変更が発生すると、その対応業務を円滑に行うことが困難になる可能性が高い。

従って、合理的な設計変更対応業務体制を検討するためには、先ず鉄骨生産体制を巡る様々な問題点と改善課題を検討し、その後より正確な意思決定や設計変更対応業務を円滑にする業務の合理化に関する検討を行う必要がある。また、根本的には、設計変更が少ない鉄骨生産体制や業務管理方法などを検討すべきである。

注

注 1) “Access” は Microsoft 社のデータベース用ソフトウェアである。

参考文献

- 1) 日本鉄骨評価センター：〈<http://www.jsa-center.co.jp/>〉（2013 年 4 月検索）
- 2) 全国鉄骨評価機構：〈<http://www.zentetsuhyo.co.jp/appraise/index.html/>〉（2013 年 4 月検索）
- 3) 日経アーキテクチュア：改正土法に備える、pp24-41、2008.9
- 4) 日経アーキテクチュア：新建築土元年、pp12-21、2008.1
- 5) 梅国章他：鉄骨製作における分業体制に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1 都市計画 建築経済・住宅問題、pp1287-1288、2010.7
- 6) 田中徳夫：建築鉄骨の品質管理はどこまで進んだか、溶接学会誌、第 58 巻、第 8 号、pp557-561、1989
- 7) 日本鋼構造協会：建築構造用鋼材の品質証明ガイドライン・運用に関する技術資料〈<http://www.jssc.or.jp/engineer/index08.html>〉
- 8) 国土交通省住宅局(国住街第 64 号)：「建築基準法道路関係規定運用指針」、2007.6
- 9) 日経アーキテクチュア：工期のずれでコスト増に、pp39-41、2008.11
- 10) 国土交通省建築研究所：「建設事業の品質管理体系に関する技術開発」報告書、建築分野編：第 3 章鉄骨造建築物の品質管理、2001.3
- 11) 南林和他：建築生産における「管理情報の伝達と共有」に関する研究報告、日本建築学会技術報告集、第 7 号、pp181~186、1999.2
- 12) 大久保孝昭他：建築生産への統合情報システムの適用実験、日本建築学会技術報告集、第 8 号、pp35~40、1999.6
- 13) 大久保孝昭他：建築 CALS 実験 WEB の活用による生産情報伝達の合理化、日本建築学会技術報告集、第 11 号、pp27~32、2000.12
- 14) 松本秀信他：情報化施工管理システムの開発と実施-鉄骨工事管理編、日本建築学会、第 5 回建築生産シンポジウム、pp223~226、1989
- 15) 高橋壮年他：構造設計情報の生産計画業務への多角的活用の試み(その 4)鉄骨鉄筋情報の工事管理への利用、日本建築学会、第 16 回建築生産シンポジウム、pp155~160、2000
- 16) 池田雄一他：I C タグを利用した溶接施工管理システムの開発と試験適用、日本建築学会、第 22 回建築生産シンポジウム、pp165~172、2006
- 17) 吉田知洋他：無線 I C タグを用いた躯体工事の品質管理支援システムに関する研究、日本建築学会、第 24 回建築生産シンポジウム、pp135~130、2008
- 18) 中島史郎他：鉄骨造躯体の施工に関する I C タグを利用した品質管理支援技術の開発、日本建築学会、第 25 回建築生産シンポジウム、pp303~308、2009
- 19) 野長瀬裕二：「CIM 時代の生産情報システム」、学文社、1994.4

- 20) 黒田充他：「生産管理」，朝倉書店，pp29～34，1996.3
- 21) Jungchul Song, et.al. : Tracking the Location of Material on Construction Job Sites, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 132, No. 9, pp911～918, 2006.9
- 22) Sangyoon Chin, et.al. : RFID+4D CAD for Progress Management of Structural Steel Works in High-Rise Buildings, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 22, No.2, pp74～89, 2008.3

（２）研究の目的

以上のような背景から、本章では鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響の関係を明らかにすることを目指し、具体的には以下の二つの目的とする。

- ① 鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響を正確に評価する方法を開発する。
- ② プロジェクトごとに異なっている設計変更の発生タイミングの特徴を明らかにする。

（３）研究の方法と事例プロジェクト

本研究は、発注方式の差異によってプロジェクトに起こる設計変更の発生タイミングが違うことを比較するため、三つのゼネコンが行った三つの鉄骨生産プロジェクト（二つの設計施工一括と一つの設計施工分離）から設計変更 277 件を選んで分析する（表 3-1）。

具体的には、鉄骨生産リードタイムを考慮して比較が可能になる変換するモデルを作成し、そのモデルを活用して変更タイミング、対応費用、鋼材使用量を変換して比較し、設計変更の発生タイミングと影響の特徴を考察する。

この分析に基本資料になったことは以下の資料である。

- ・ 設計変更対応業務の記録 (ISO9001 文書)
- ・ 鉄骨生産に関するプロジェクトスケジュール表（鉄骨工事管理表、鉄骨生産日程表、輸送計画表など）
- ・ 変更図面（変更部位がマーキングされている図面）
- ・ 会議や打合せの記事録（ゼネコンと鉄骨ファブの間）
- ・ 業務指示や連絡記録（ゼネコンと鉄骨ファブの間）

表 3-1 三つの事例に関する基本情報

		事例 A	事例 B	事例 C
建築プロジェクトに関する情報	発注方式	設計施工一括	設計施工一括	設計施工分離
	設計	ゼネコン	ゼネコン	設計事務所
	プロジェクト期間	約 24 ヶ月	約 25 ヶ月	約 20.5 ヶ月
	延床面積	135,000 m ²	94,000 m ²	303,000 m ²
	敷地面積	11,000 m ²	7,000 m ²	70,000 m ²
	高さ	97 m	68 m	35 m
	ゼネコン	1 社	6 社	1 社
	鉄骨ファブ	5 社	5 社	25 社
鉄骨生産プロジェクトに関する情報	鉄骨生産期間 （図面作成から建て方完了）	約 13 ヶ月	約 11 ヶ月	約 8 ヶ月
	鉄骨類	柱と梁	梁	柱と梁
	鉄骨生産量（W）	約 6,700 トン	約 3,400 トン	約 7,000 トン
	鉄骨製品数（N）	約 2,000 トン	約 1,000 トン	約 1,300 トン
設計変更に関する情報	設計変更数（ α ）	74 件	47 件	156 件
	変更した鉄骨製品数（ β ）	495 個	944 個	1,286 個
	変更した部品数（ γ ）	約 4000 個	約 14,800 個	約 7,000 個

（出所：調査により筆者作成）

(4) 既往研究

過去数十年間、建設プロジェクトにおける設計変更の影響について多くの研究者が研究をしてきた。しかし、各プロジェクトは異なる生産組織や環境により、設計変更の発生パターンに差がある。最初に、Leonard (1987) は設計変更の累積影響を測定する方法を提案し¹⁴⁾、その後、Hanna(2002a⁵⁾、2002b⁶⁾、2004⁷⁾、2007⁸⁾や Ibbs(1997⁹⁾、2001¹⁰⁾、2003¹¹⁾、2005¹²⁾、2007¹³⁾は様々な要素を考慮してプロジェクトに与える設計変更の影響を正確に評価する研究を行ったきた。

彼らの研究の成果は、プロジェクトのマネージャーが対応戦略を考える際に十分な参考資料になるものと考えられる。しかし、設計変更の累積影響を詳細に理解するためには内容が足りない。

一方、鉄骨工事と鉄骨生産については、蟹澤(1994¹⁾、1995²⁾が鉄骨工事における設計変更の発生原因を分析し、その影響を分析した。しかし、何れの研究でも、直接に設計変更の発生タイミングを考慮して定量的に設計変更の影響を扱った研究は少ない。大部分の研究では、直接にプロジェクト関係者の業務を考慮して設計変更の影響を扱った研究ではなく、個別的な要素を考慮して設計変更の影響を扱った研究が多い。

したがって、正確に設計変更の影響を分析するためには、鉄骨生産主体間の業務関係を詳細に考慮して設計変更の問題を扱わなければならない。

3.2 鉄骨工事における設計変更の発生タイミングの分析（変換前）

鉄骨工事の事例から設計変更の特徴を把握するために、図 3-2 と 3-3 に分析結果として設計変更の発生頻度、追加コストと鋼材のような主要な要素を表した。また、鉄骨生産プロジェクトにおける設計変更の影響程度は、追加コストと鋼材に関する事例比較によって間接的に把握できる。この場合、表 3-2 に示すような三つのプロジェクト間の追加コストと追加鋼材のような関連要素を使って影響の大きさは表現できる。

その関連値(δ , ε , ζ , η)は重要な意味を含まれており、事例 B と C を事例 A に分けて比率値として計算する。例えば、設計変更に対して、 δ は全体影響、 ε は平均影響、 ζ は変更件に関する変更作業量、 η は変更部品に関する変更作業量を意味する。

表 3-2 設計変更対応に関するコストと鋼材使用量の比較

	事例 A		事例 B		事例 C	
	コスト	鋼材	コスト	鋼材	コスト	鋼材
δ ¹⁾	$\delta_c=1.00$	$\delta_m=1.00$	$\delta_c=6.14$	$\delta_m=8.56$	$\delta_c=3.90$	$\delta_m=4.37$
ε ²⁾	$\varepsilon_c=1.00$	$\varepsilon_m=1.00$	$\varepsilon_c=9.66$	$\varepsilon_m=13.47$	$\varepsilon_c=1.85$	$\varepsilon_m=2.07$
ζ ³⁾	$\zeta_c=1.00$	$\zeta_m=1.00$	$\zeta_c=3.22$	$\zeta_m=4.49$	$\zeta_c=1.50$	$\zeta_m=1.68$
η ⁴⁾	$\eta_c=1.00$	$\eta_m=1.00$	$\eta_c=1.66$	$\eta_m=2.31$	$\eta_c=2.23$	$\eta_m=2.50$

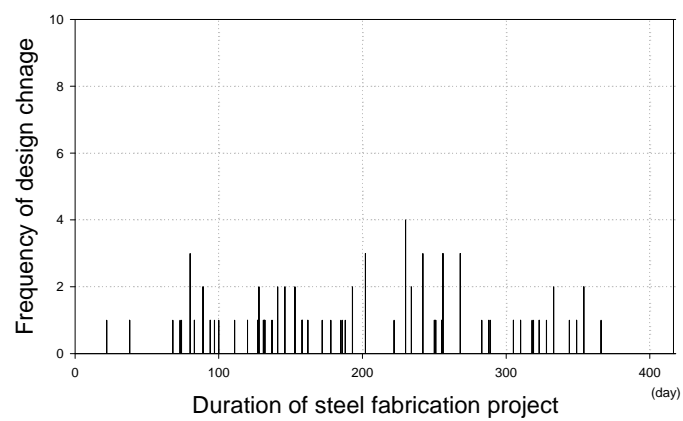
1) The relative ratio of AC ($\delta_c = \text{Cost}_{\text{project A, B, C}} / \text{Cost}_{\text{project A}}$) & AM ($\delta_m = \text{Material}_{\text{project A, B, C}} / \text{Material}_{\text{project A}}$)

2) The relative ratio of AC ($\varepsilon_c = \text{Cost}_{\text{project A, B, C}} / \alpha_{\text{project A, B, C}}$) & AM ($\varepsilon_m = \text{Material}_{\text{project A, B, C}} / \alpha_{\text{project A, B, C}}$)

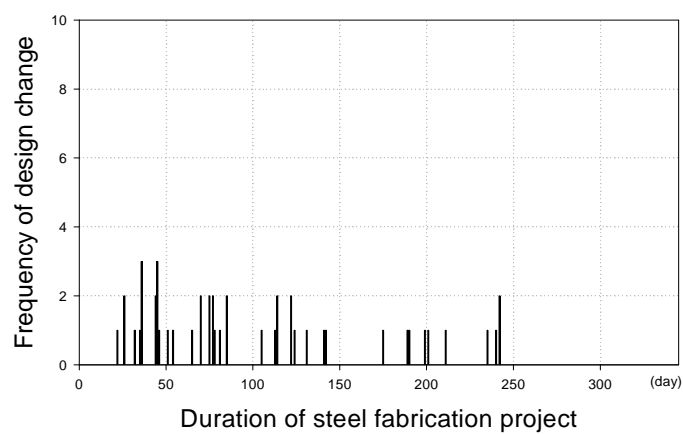
3) The relative ratio of AC ($\zeta_c = \text{Cost}_{\text{project A, B, C}} / \beta_{\text{project A, B, C}}$) & AM ($\zeta_m = \text{Material}_{\text{project A, B, C}} / \beta_{\text{project A, B, C}}$)

4) The relative ratio of AC ($\eta_c = \text{Cost}_{\text{project A, B, C}} / \gamma_{\text{project A, B, C}}$) & AM ($\eta_m = \text{Material}_{\text{project A, B, C}} / \gamma_{\text{project A, B, C}}$)

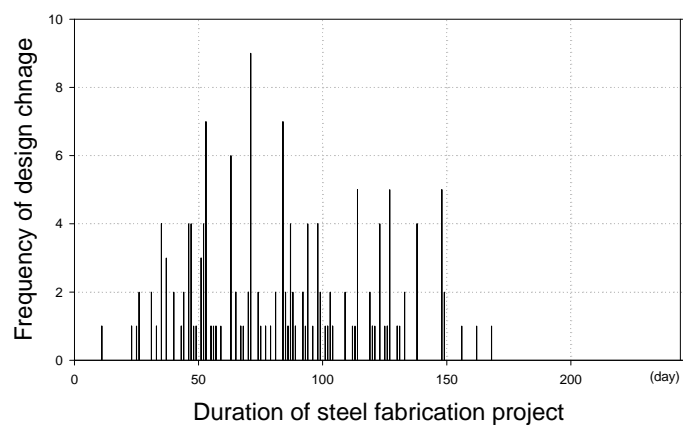
(出所：資料分析に基づいて筆者作成)



事例 A



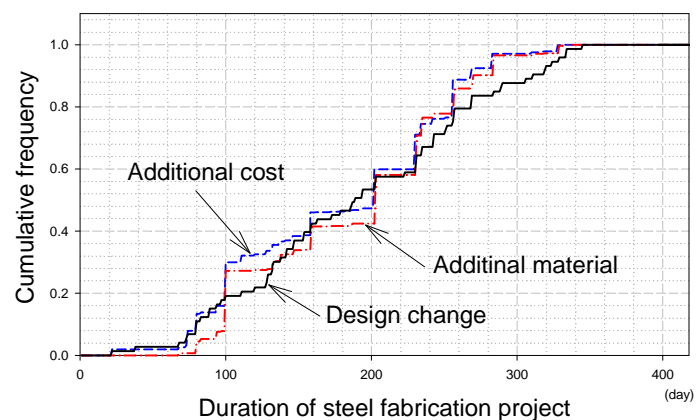
事例 B



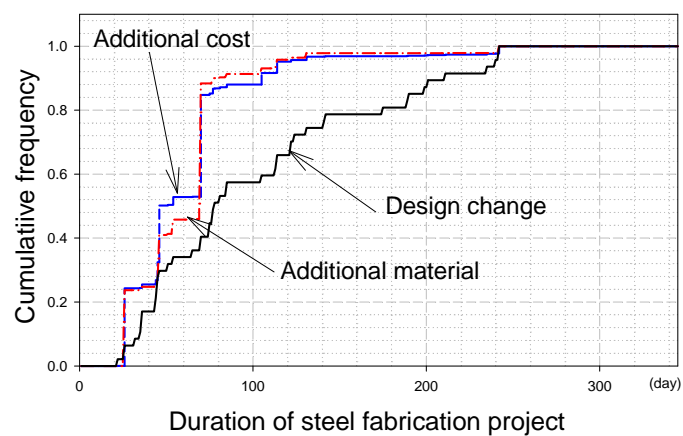
事例 C

図 3-2 設計変更発生頻度分析(変換前)

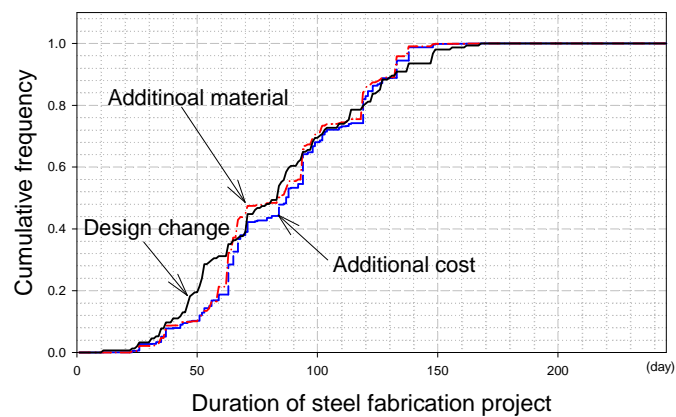
(出所：資料分析に基づいて筆者作成)



事例 A



事例 B



事例 C

図 3-3 累積影響分析：設計変更発生頻度、対応費用、使用鋼材量（変換前）
（出所：資料分析に基づいて筆者作成）

3.3 設計変更の発生タイミングを比較するための変換モデルの開発

各プロジェクトは異なる作業環境で推進されるため、設計変更の発生タイミングと影響を比較するには、多くの問題がある。例えば、各生産物は寸法や材料が違い、その生産過程も多様である。鉄骨製作期間はプロジェクトごとに異なっている。さらに鉄骨生産プロジェクトは通常、異なる生産リードタイムを持つ複数の生産節(LOTs)に分けて製作される。全ての要素は LCM の開発に考慮すべきであるが、それにもかかわらず異なる生産期間を持つプロジェクトを直接に比較することは不可能である。

従って、異なる生産節で構成されたプロジェクトの設計変更タイミングを比較するために、変換モデルとして LCM(各鉄骨生産プロジェクトの生産リードタイムを基に)を開発する。比較方法は図 3-4 に示すような作業マイルストーンと期間を使った簡単な数学的な方法である。詳細な開発工程は以下の 3 段階で分けられる。

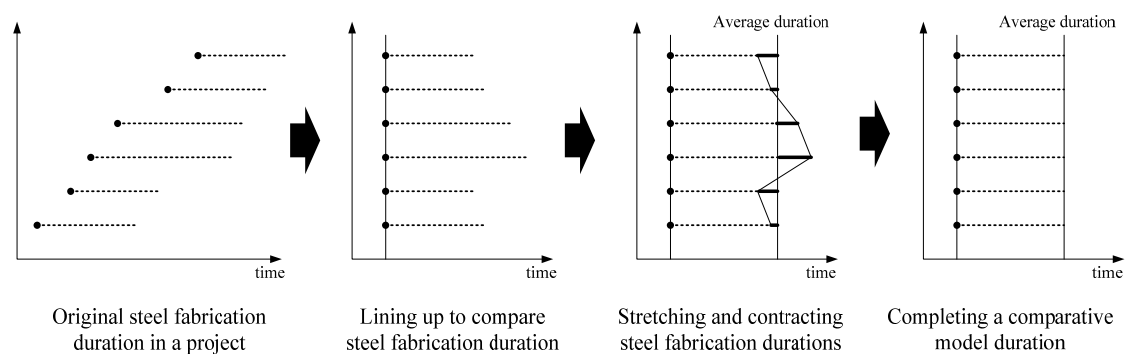


図 3-4 変換モデルの比較概念

(出所：筆者作成)

【1 段階】

ここでは、作業マイルストーン(WM)、作業期間(WD)と定義されるものを活用して生産リードタイムを伸縮して同等な期間となれる簡単な数学的な比較概念を紹介する。従って、LCM の開発前、つまりモデルの開発と分析の以前にあるマイルストーンの定義が必要となる。図 3-5 は鉄骨生産における生産節と相互関係で変換モデルの作成概念を示したものである。

最初に、契約以前の段階で鉄骨ファブはゼネコンから構造図を入手し、それに基づいて鋼材発注量を計算する(図 3-5)。しかし、実際に鉄骨ファブの仕事は様々な技術的な仕様を考慮した詳細図を GC が承認した後が始まる。

鉄骨製品の生産には様々な情報の準備を要する。例えば、工作図、切断図、塗装図、様々な部品リスト、生産計画(週間と月間)。時々、ある設計変更は工作図の作成開始前に発生する。この場合、GC が図面変更を通じて設計変更に対応する。

変換モデルの開発について作業期間を定義するために、設計変更に関する既往研究(金、2012)に基づいて、七つの作業マイルストーンの中で意思決定の主な時期になる五つの作業マイルストーンを選択した。それは工作図の入手(承認図)、鉄骨製作開始、品質検査開始、輸送開始、現場

の建て方である。また、場合によっては、もっと細部的な作業単位を考慮して設計変更の違うパターンを発見することも可能と考えられる。

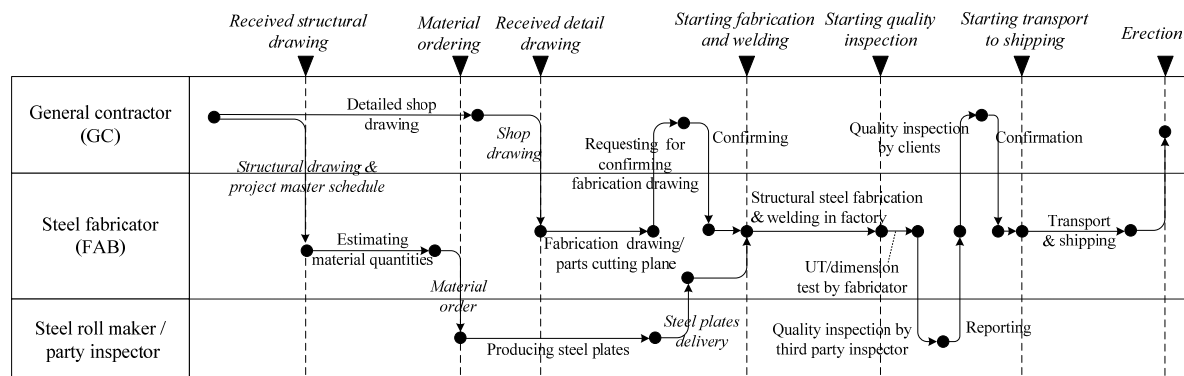


図 3-5 鉄骨生産プロセスおよび主要作業マイルストーン

(出所：資料調査とヒアリングに基づいて筆者作成)

【2 段階】

図 3-5 に表したような事前を選択した五つの作業マイルストーンを基に、作業期間を分析する方法を定義し、それを紹介する。また、設計変更タイミングを比較するための数学的変換モデルの開発についても説明する。

四つの作業期間は、図 3-6 に示すような工作図作成、鉄骨製作、品質検査、輸送と定義される。鉄骨生産プロジェクトについて、“ i ” はある生産節の順番であり、その生産節の生産時間は式 (1) によって計算できる。

$$LT_i = (a_i + b_i + c_i + d_i) \quad (1)$$

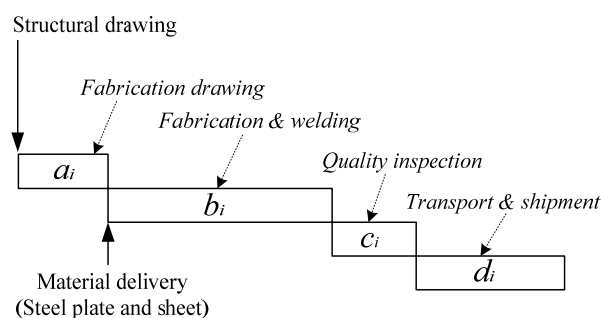


図 3-6 鉄骨生産一節の生産リードタイム事例

(出所：筆者作成)

ただ、 a_i , b_i , c_i , d_i は工作図作成、鉄骨製作、品質検査、輸送の期間である。

$$\overline{LT} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n LT_i = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c} + \bar{d} \quad (2)$$

ただ、 \overline{LT} は全体生産節の平均リードタイムであり、式(2)によって計算される。「n」は全体生産節の数である。

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n a_i, \quad \bar{b} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n b_i, \quad \bar{c} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n c_i, \quad \bar{d} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n d_i \quad (3)$$

ただ、 $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}$ は平均時間で式(3)によって計算される。

【3 段階】

各生産節における設計変更タイミングは前段階で計算された変換割合を使って伸縮される。図 3-7 は設計変更タイミングに変換割合を掛けて変換させる設計変更タイミングの変換概念を示したものである。

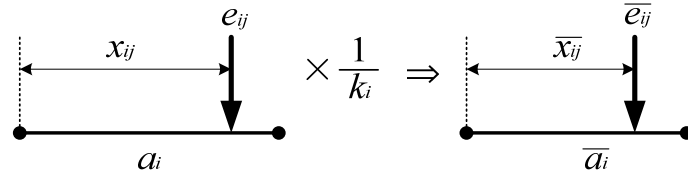


図 3-7 変換変数を活用した設計変更タイミングの変換概念

(出所：筆者作成)

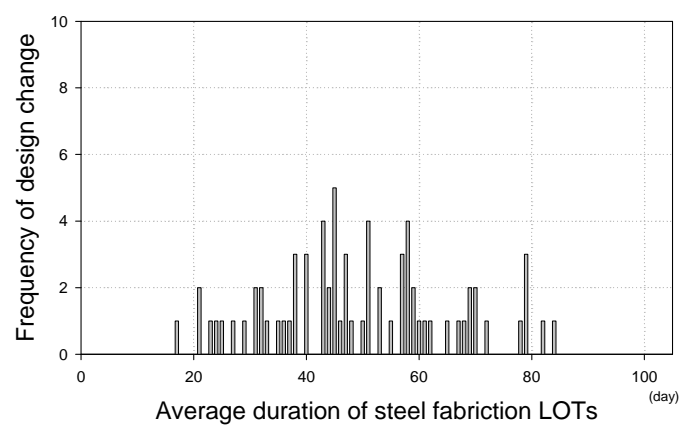
ただ、 e_{ij} はある設計変更について“i”生産節の番号、“j”設計変更の番号である。また、 x_{ij} は作業開始から設計変更が発生した時期までの期間である。各生産節の割合は式(4)によって計算される。

$$a_i/\bar{a} = k_i, \quad b_i/\bar{b} = l_i, \quad c_i/\bar{c} = m_i, \quad d_i/\bar{d} = p_i \quad (4)$$

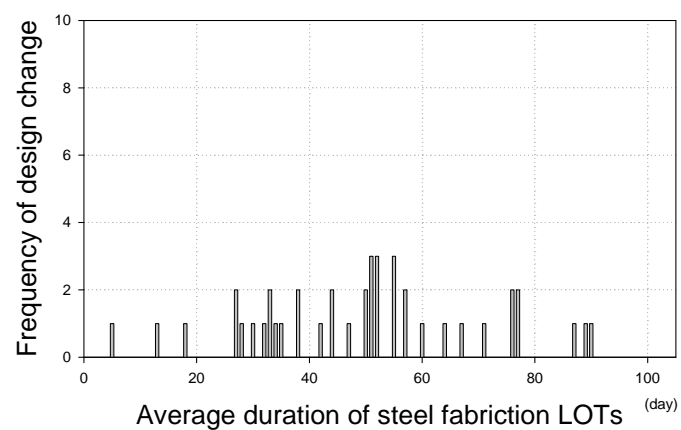
計算に考慮した全生産節の生産リードタイムおよび変換割合をまとめて表 3-3 に表す。

表 3-3 各生産節の鉄骨生産リードタイムおよび変換割合

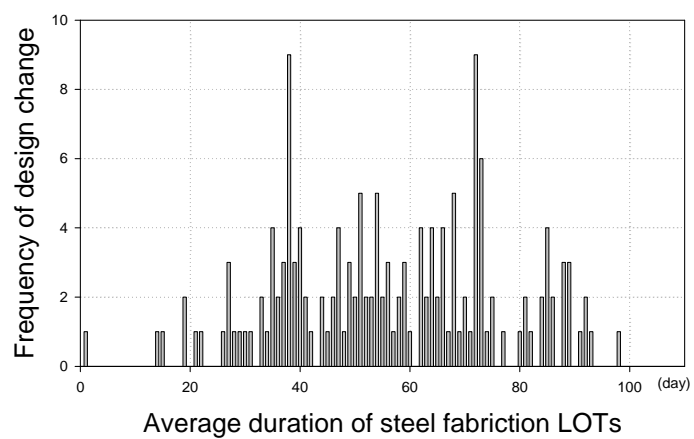
	i	a_i	b_i	c_i	d_i	LT_i	k_i	l_i	m_i	p_i
A	1	25.0	25.0	12.5	25.0	87.5	1.09	1.61	0.99	1.00
	2	17.5	50.0	12.5	25.0	105.0	1.56	0.80	0.99	1.00
	3	32.5	25.0	12.5	25.0	95.0	0.84	1.61	0.99	1.00
	4	42.5	25.0	12.5	25.0	105.0	0.64	1.61	0.99	1.00
	5	37.5	25.0	12.5	25.0	100.0	0.73	1.61	0.99	1.00
	6	50.0	25.0	12.5	25.0	112.5	0.55	1.61	0.99	1.00
	7	42.5	50.0	12.5	28.8	133.8	0.64	0.80	0.99	0.87
	8	55.0	25.0	12.5	25.0	117.5	0.50	1.61	0.99	1.00
	9	42.5	50.0	12.5	25.0	130.0	0.64	0.80	0.99	1.00
	10	51.3	22.5	12.5	25.0	111.3	0.53	1.78	0.99	1.00
	11	32.5	50.0	12.5	25.0	120.0	0.84	0.80	0.99	1.00
	12	52.5	50.0	12.5	25.0	140.0	0.52	0.80	0.99	1.00
	13	77.5	37.5	12.5	25.0	152.5	0.35	1.07	0.99	1.00
	14	28.8	50.0	12.5	25.0	116.3	0.95	0.80	0.99	1.00
B	15	14.0	50.0	12.5	25.0	101.5	1.95	0.80	0.99	1.00
	16	16.5	50.0	12.5	25.0	104.0	1.66	0.80	0.99	1.00
	17	16.5	50.0	12.5	25.0	104.0	1.66	0.80	0.99	1.00
	18	16.5	50.0	12.5	25.0	104.0	1.66	0.80	0.99	1.00
	19	16.5	50.0	12.5	25.0	104.0	1.66	0.80	0.99	1.00
C	20	8.3	50.0	12.5	25.0	95.8	3.31	0.80	0.99	1.00
	21	8.3	25.0	12.5	25.0	70.8	3.31	1.61	0.99	1.00
	22	11.0	50.0	12.5	25.0	98.5	2.49	0.80	0.99	1.00
	23	8.3	25.0	12.5	25.0	70.8	3.31	1.61	0.99	1.00
	24	9.3	50.0	12.5	25.0	96.8	2.96	0.80	0.99	1.00
	25	10.0	50.0	12.5	25.0	97.5	2.73	0.80	0.99	1.00
	26	8.3	50.0	12.5	25.0	95.8	3.31	0.80	0.99	1.00
	27	8.3	25.0	12.5	25.0	70.8	3.31	1.61	0.99	1.00
	28	7.5	50.0	12.5	25.0	95.0	3.65	0.80	0.99	1.00
	29	26.3	50.0	12.5	25.0	113.8	1.04	0.80	0.99	1.00
	30	20.0	37.5	12.5	25.0	95.0	1.37	1.07	0.99	1.00
	31	32.5	50.0	12.5	25.0	120.0	0.84	0.80	0.99	1.00
	32	32.5	25.0	12.5	25.0	95.0	0.84	1.61	0.99	1.00
	33	20.5	17.5	7.5	25.0	70.5	1.33	2.29	1.65	1.00
	34	51.3	50.0	12.5	25.0	138.8	0.53	0.80	0.99	1.00
平均期間(日)		27.3	40.1	12.4	25.1	104.9				



事例 A



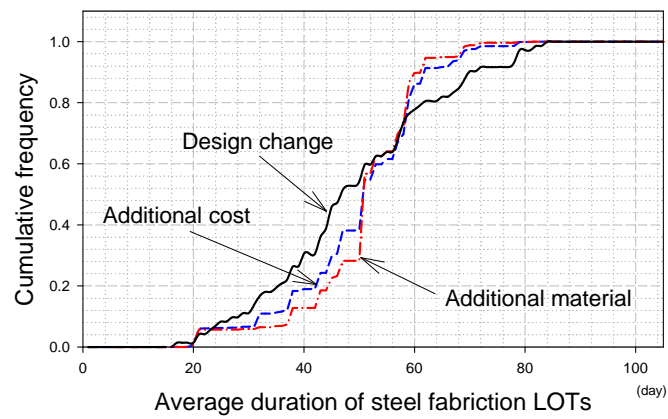
事例 B



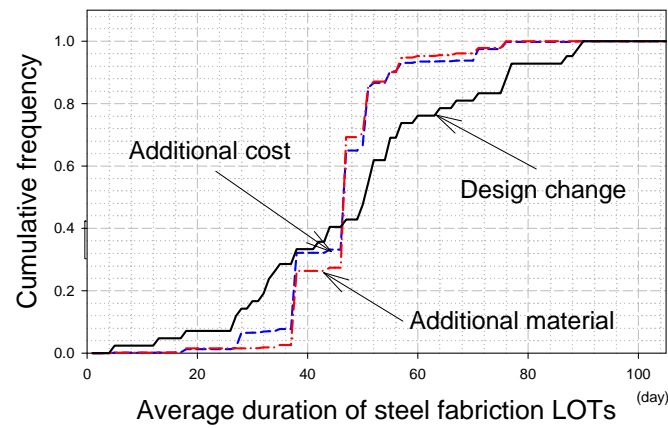
事例 C

図 3-8 設計変更発生頻度分析(変換後)

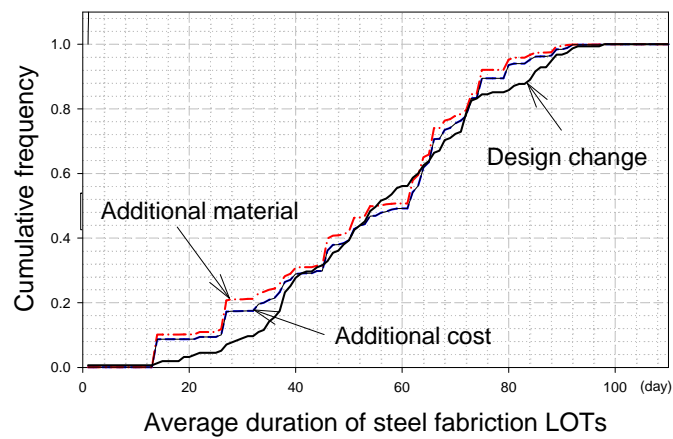
(出所：資料分析に基づいて筆者作成)



事例 A



事例 B



事例 C

図 3-9 累積影響分析：設計変更発生頻度、対応費用、使用鋼材量（変換後）
（出所：資料分析に基づいて筆者作成）

3.4 考察

提案した変換モデルを三つの事例に適用し、結果を整理して図 3-8、3-9、表 3-4 に示す。分析の結果で理解した設計変更の発生タイミングと影響に関する特徴は以下の通りである。

- ・ 数多くの設計変更が鉄骨製作期間中に発生している(表 3-4)。
- ・ 事例 A と B の場合、分析した設計変更の累積頻度と追加コストの曲線が一回、交差している(図 3-9、3-10)。
- ・ 曲線の交差点は事例 A と事例 B が異なる時期になっており、特に事例 A より事例 B が特定の時点から激しく増加する形である。

従って、設計変更タイミングの特徴を検討し、発注方式の差異の観点で原因を考察する必要がある。設計施工一括の場合、設計施工分離より早期にサブコンを選び、鉄骨工事に関わる仕様やスケジュールの決定を正確に計画することが可能である。その結果、工作図のチェックやフィードバック業務について、ゼネコンとサブコンはより効率的な協力体制を構築することができる。直接に事例を比べる際には、図 3-9 のような曲線の絶対値を使って比較すべきである。そのため、特に 10%～90%の区間を強調した図 3-10 を見ると、設計変更の発生頻度が高くなる時期や設計変更の影響を理解やすくなる。事例 A と B の場合、交点、曲線、傾きについて差が存在している。また、調査の結果、事例 A は一つのゼネコンが担当したが、事例 B は複数のゼネコン(JV: Joint Venture)が担当したため、事例 A より事例 B が仕様決定、図面作成と修正、設計変更対応などの業務について複雑な管理体系を取っている。

図 3-9 に示すような多数の影響により大きな設計変更が発生した事例 B は他の事例と比べて多くの設計変更が発生したことが分かる。

例えば、設計施工分離である事例 C の生産リードタイムと鉄骨生産期間は事例の中では最も短い、実際の設計変更の影響はそんなに大きいではない(表 3-2 の ξ と η)。

各プロジェクトにおける差異点に関するより根本的な原因を調べるために、三つの事例の作業プロセスを分析して比較した。その結果、各事例の図面作成過程が異なることが現れた。また、特に事例 A と C は、幹事ファブが鉄骨図面に関するチェックや変更などの業務調整を担当した。しかし、各事例での組織と業務分担に関する内容が不明確であるため、プロジェクトのコーディネーションに関する影響を明らかにすることは困難であった。

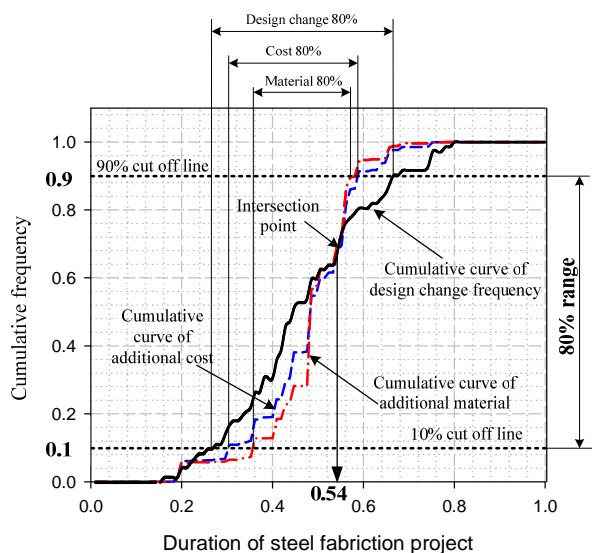
表 3-4 各業務段階での設計変更の発生比率、追加コスト、追加鋼材使用量(変換後)

鉄骨製作段階	事例 A			事例 B			事例 C		
	DC	AC	AM	DC	AC	AM	DC	AC	AM
図面作成(0-27day)	9.7%	6.3%	5.7%	11.9%	1.7%	1.5%	7.1%	17.2%	20.7%
鉄骨製作(27-68day)	75.0%	87.6%	89.5%	69.1%	92.1%	94.6%	63.2%	56.3%	55.7%
品質検査(69-80day)	12.5%	6.0%	4.7%	11.9%	6.0%	3.9%	15.5%	20.1%	18.8%
輸送(80-105day)	2.8%	0.1%	0.1%	7.1%	0.2%	0.0%	14.2%	6.4%	4.8%

DC: Design change, AC: Additional cost, AM: Additional material

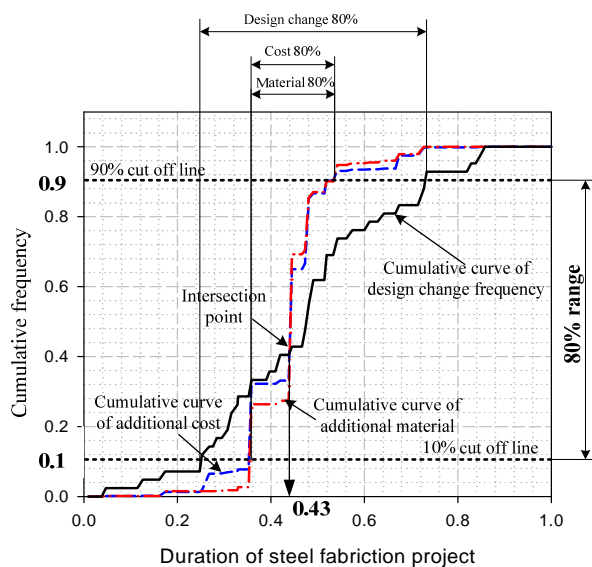
(出所: 分析により筆者作成)

事例 A



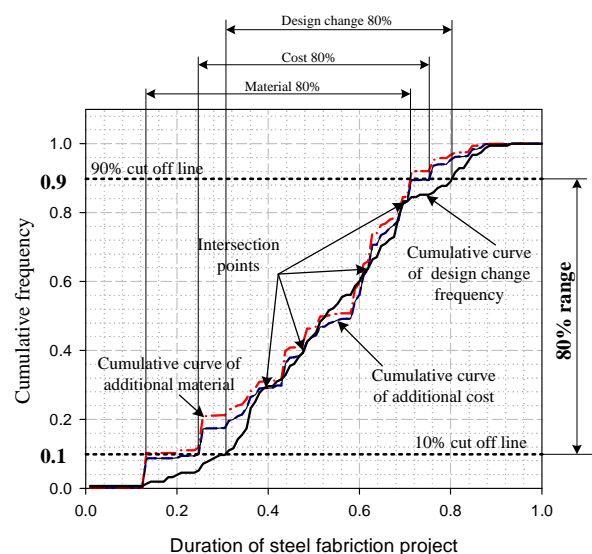
- ・ 設計変更の累積頻度と追加コストの曲線が交差する特定の点が存在する。
- ・ 設計変更が集中して発生する時期が存在する。

事例 B



- ・ 設計変更の累積頻度と追加コストの曲線が交差する特定の点が存在する。
- ・ 設計変更が特定の時期に集中して発生した。注目すべきことは交差点以後の変更が変更発生件数より大きな費用が掛った設計変更が多く発生したことである。

事例 C



- ・ 設計変更の累積頻度と追加コストの曲線が特定な点で交差することなく、曲線が一致している。
- ・ 設計変更が鉄骨生産期間に分散して発生したが、プロジェクトに大きな影響を与える変更は少なかった。

図 3-10 設計変更に関する変換曲線の分析（出所：分析に基づいて筆者作成）

3.5 小結

本研究は、鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響を正確に評価するために、生産リードタイムの変換モデルを開発し、三つのプロジェクトに適用して分析を行った。

提案したモデルはデータの変換にも拘らず、生産リードタイムを簡単に変換して設計変更の発生タイミングと影響の特徴を分析することが可能で有効な方法である。

分析の結果、以下のことが確認できる。

- ①大部分の設計変更は鉄骨製作の途中に発生している（約 56～90％）。
- ②早期に変更した設計変更より遅れた設計変更がプロジェクトに大きな影響を与えている。
- ③プロジェクトごとに設計変更に関する累積曲線の幅が異なっている（図 3-9）。
- ④設計施工一括方式の場合、設計変更の累積頻度と追加コストの曲線が一回交差した。
- ⑤工作図の作成に関するコーディネーションと設計変更対応の関係は設計変更の発生タイミングに影響を与えている。

以上、三つの鉄骨生産プロジェクトの事例に基づいて設計変更の発生タイミングとその影響を分析し、それがプロジェクトの発注方式や管理方式と強い関係を持つことを明らかにした。

注

注 1) 本研究の分析アイデアは、ものの特徴を維持しながらものの長さを伸縮して調和した音の比率を探したピタゴラスの調和比率の概念から取っている。

参考文献

- 1) 蟹澤宏剛他：鉄骨製作段階における生産設計の実態、日本建築学会、第 10 回建築生産と管理技術シンポジウム、pp207-212、1994. 7
- 2) 蟹澤宏剛他：鉄骨ファブリケーターの業務からみた生産設計の実態、日本建築学会、第 11 回建築生産と管理技術シンポジウム、pp111-118、1995. 7
- 3) 金貞坤他：鉄骨工事における設計変更の発生原因と鉄骨ファブの対応策、日本建築学会、第 27 回建築生産シンポジウム論文集、pp213-218、2011. 7
- 4) 峰政克義他：建築プロジェクトにおける生産情報の確定過程、日本建築学会計画系論文集、第 502 号、pp187-194、1997. 12
- 5) Hanna, A. S. et al. (2002a) Quantitative Definition of Projects Impacted by Change orders, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128. No. 1, pp57-64
- 6) Hanna, A. S. et al. (2002b) Statistical-Fuzzy Approach to Quantity Cumulative Impact of Change orders, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 16. No. 4, pp252-258
- 7) Hanna, A. S. et al. (2004) Impact of Change Orders on Small Labor-Intensive

- Projects, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 130. No. 5, pp726-733
- 8) Hanna, A. S. et al. (2007) Risk Allocation by Law - Cumulative Impact of Change Orders, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 133. No. 1, pp60-66
 - 9) Ibbs, C. W. (1997) Quantitative Impacts of Project Change: Size Issue, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 123. No. 3, pp308-311
 - 10) Ibbs, C. W. et al. (2001) Project Change Management System, Journal of Management in Engineering, Vol. 17. No. 3, pp159-165
 - 11) Ibbs, C. W. et al. (2003) Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis, Journal of Management in Engineering, Vol.29, No. 4, pp382-387
 - 12) Ibbs, C. W. (2005) Impact of Change Timing on Labor Productivity, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 131. No. 11, pp1219-1223
 - 13) Ibbs, C. W. et al. (2007) Quantified Impacts of Project Change, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 133. No. 1, pp45-52
 - 14) Leonard, C. A. (1987) The effect of change orders on productivity, The Revay Report, Vol. 6, No. pp1-4

第4章 設計変更に対する鉄骨ファブリケーターの意思決定の仕組み

4.1 はじめに

(1) 研究の背景

建築プロジェクトにおける鉄骨工事は建築物の躯体を構成する重要な工事であり、多様な生産主体の協力に基づいて行われるため、その生産過程は複雑なものとなっている。そのため、鉄骨工事に設計変更のような突発的な問題が発生した場合、伝達・入手された関連情報の再検討などに一定以上の手間と時間がかかり、他工事との業務調整や対応策の立案が困難となる場合が多い。その結果、多くの鉄骨工事においては、工期延長や工事費の上昇などの恐れが潜在しており、生産性低下といった大きな影響をプロジェクト全体に与えている¹⁾²⁾³⁾。

さらに近年では、鉄骨ファブとして外国業者が参加するようになり^{注1)}、鉄骨工事の施工体制がより多様化されつつあるため、鉄骨製品の生産と調達の仕組みを安定的に構築することが重要な課題となっている⁴⁾⁵⁾。前述したような設計変更対応問題を根本的に解決するためには、鉄骨工事に関わる各生産主体の業務と情報の流れを明確化し、合理的な設計変更対応体制を構築する必要がある。

(2) 研究の目的

本章では、実質的に鉄骨工事における設計変更対応業務を担当する鉄骨ファブの業務を詳細に分析し、意思決定の過程や内容を明らかにし、合理的な設計変更に対する意思決定の仕組みに関して考察することを目的とする。

(3) 研究の範囲と方法、調査対象

1) 研究の範囲

本章では、鉄骨工事の設計変更対応に関する全体的な仕組みを考察するため、まず鉄骨製作と設計変更対応業務を担当している鉄骨ファブを研究対象・範囲として選定し、設計変更対応業務の仕組みを分析した結果を報告する。図4-1にその概念を示す。

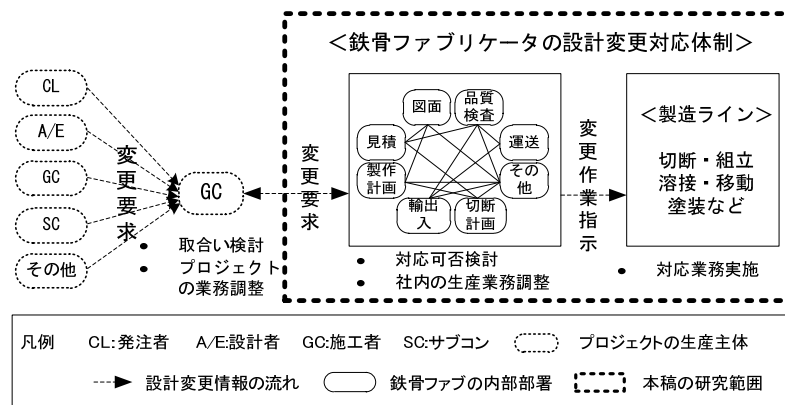


図4-1 設計変更要求情報の流れと本章の研究範囲（出所：筆者作成）

2) 研究の方法

設計変更に対して鉄骨ファブが行っている意思決定の仕組みを明確にするために、以下の方法で調査と分析を行う。

- ① ヒアリングによる基礎調査を行い、鉄骨生産組織と設計変更に関する基本的な体制や問題点を把握する。
- ② 鉄骨ファブの ISO9000（以下、ISO と呼ぶ）や社内の業務資料などに基づき、全般的な鉄骨ファブの生産業務と設計変更対応業務のプロセスを分析する。
- ③ ①と②の知見に基づき、鉄骨ファブの社内業務と会議に参加し、設計変更に対する意思決定の過程と内容を考察する。

3) 調査対象の鉄骨ファブの特徴およびプロジェクト事例の概要

調査対象とする鉄骨ファブの選定に関して、多数の鉄骨ファブを選定・意思決定の仕組みを調べる方法と、特定の 1 社の鉄骨ファブが一般的な鉄骨ファブといえることを確認したうえで当該鉄骨ファブの意思決定の仕組みを詳細に調べる方法がある。本章では後者の方法をとった。一般的な鉄骨ファブとして選定した根拠は、①国際的な相互認証制度である ISO の認証を取得しており、また、②全国鉄骨評価機構から S グレードの評価を取得しており、③日本の複数のゼネコンと多数のプロジェクトでの取引実績があり、④当該企業の鉄骨生産ラインはほぼ全体が情報開示されており⁵⁾、⑤設計変更データが詳細に情報提供されることによる。一方で、調査対象鉄骨ファブは、①主生産工場が海外にあり、生産リードタイムが長く、②工場の技能労働者を直接雇用しており、③材料調達、図面作成、切断、製作に至る業務を一貫して社内で行っているため、全体的な鉄骨ファブの設計変更対応業務の様子を把握することが比較的容易、という他の鉄骨ファブと異なった特徴を有する。さらに設計変更対応については、ISO 方式¹⁶⁾（以下、回覧方式と呼ぶ）を基に独自のやり方と文書システムを持っているなど、鉄骨生産工場と現場に対する一貫管理体系の構築に関する検討が可能である。

また、設計変更実務を正確に理解するために、特殊な工法や問題に起因する設計変更が多発したプロジェクトではなく、多様な内容の設計変更が発生した三つのプロジェクト（第 2 章の事例 A、B、C）を対象事例として選択した。三つの事例はいずれも異なるゼネコンが元請となった大規模なプロジェクトであり、建物の用途は事務所、事務所(官庁)、研究所である。その中で設計変更に関するデータは調査対象の鉄骨ファブが生産を担当した部分に該当する。

(4) 既往研究

建築プロジェクトにおける設計変更の発生と対応、その影響に関する既往研究では、Hanna¹⁾、Ibbs²⁾³⁾がプロジェクトに与える設計変更の影響を生産性を基に研究し、Ibbs⁶⁾、Lee⁷⁾、Song⁸⁾、Motawa⁹⁾は設計変更対応のための業務管理モデルを開発している。また、鉄骨ファブの生産工程と設計変更業務に関する主な既往研究では、浦江¹⁰⁾、蟹澤¹¹⁾のプロジェクト事例から鉄骨生産情報の確定過程、渡辺¹²⁾のアンケート調査による鉄骨生産システムの現況と問題点、金¹³⁾の鉄骨ファブの設計変更対応方法などの研究がある。

また、Karumanasseri¹⁴⁾が鉄骨生産計画の立案方法、Song¹⁵⁾が労働生産性の測定モデルを開発

している。しかし、いずれも部分的・概念的な解決方法に関する研究であり、鉄骨工事の設計変更対応全般を具体的に扱った研究は少ない。

本研究は、設計変更に関する鉄骨ファブの対応を明らかにするため、鉄骨ファブの生産組織体制や設計変更関連業務を確認、意思決定の仕組みを実際のプロジェクトに即して実証的に分析する点に特徴がある。

4.2 鉄骨ファブの業務と生産組織体制

鉄骨ファブの業務は、通常の生産業務と設計変更対応業務に分けられる。その二つの業務プロセスは異なっており、とりわけ設計変更対応業務は、意思決定の過程とその結果を通常の生産業務に反映する過程を要する。したがって、設計変更に対する鉄骨ファブの意思決定の仕組みを明確にするためには、先ず設計変更に関する意思決定の重要な制約条件となる生産スケジュールを生産業務とともに理解した後、生産組織体制の観点で生産業務と設計変更対応業務を考察する必要がある。ここでは、事例調査の結果を基に、鉄骨ファブの業務と生産組織体制について述べる。

4.2.1 鉄骨ファブの業務と生産スケジュール

鉄骨ファブの業務は、社内の各部署の協力によって行われるが、通常の生産業務は各生産節の生産スケジュールを通じて管理されている。一般に生産スケジュールは、現場の工事日程を基に主要な業務段階の所要期間を計算し、バーチャートなどを用いて作成される。

そのため、生産スケジュールは設計変更に関する意思決定の主要な制約条件となっており、鉄骨ファブの業務全体における生産スケジュールの有する意味を明確に理解する必要がある。本章では、研究対象とした鉄骨ファブの生産スケジュールの事例を調査・分析した。

その結果、鉄骨ファブは主要業務開始時点を基に、五つの生産段階に分けて業務リードタイムを決めている。つまり決めなければならないリードタイムは、①鋼材発注（厚板など）、②図面作成（工作図・現寸・切断計画・製品リスト・部品リストなど）、③鉄骨製作（切断・組立・溶接・穴明など）、④製品検査（UT・寸法検査、第3者検査など）、⑤輸送（運送・船積など）である。さらに実際のプロジェクトの生産節別のリードタイムは、その生産量（ロットサイズ）と現場日程の変動に伴い、作業・余裕期間が異なるようになっている。生産スケジュールにおける主要業務開始時期とリードタイムの決定方式に関する調査結果を整理して図 4-2 に示す。

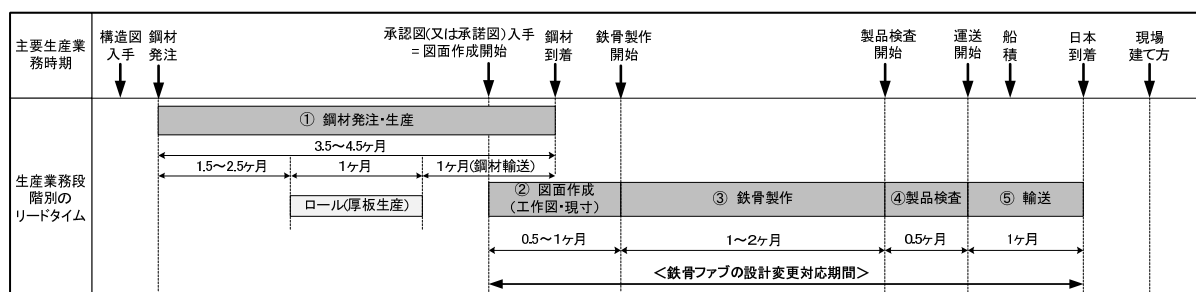


図 4-2 鉄骨生産リードタイム（一節の例）

（出所：調査に基づいて筆者作成）

4.2.2 鉄骨ファブの生産組織体制

鉄骨ファブの生産組織には、直接鉄骨生産に関与する組織と、会社の運営と管理を支援する組織がある。また、直接鉄骨生産に関与する組織は、前に述べたとおり、通常の生産業務と設計変更対応業務を同時に担当しているが、各業務に関与する度合い（範囲や構成）は必ずしも一定ではない。それを整理し、図 4-3 に表す。

鉄骨ファブの生産組織体制を見ると、製造管理、エンジニアリング業務、プロジェクト統括管理、会社運営統括管理の四つの主要業務部門に大別され、図面作成などの製作準備業務を行うエンジニアリング業務と、工場内の生産活動を管理する製造管理の二つの業務部門が主要な役割を果たしている。

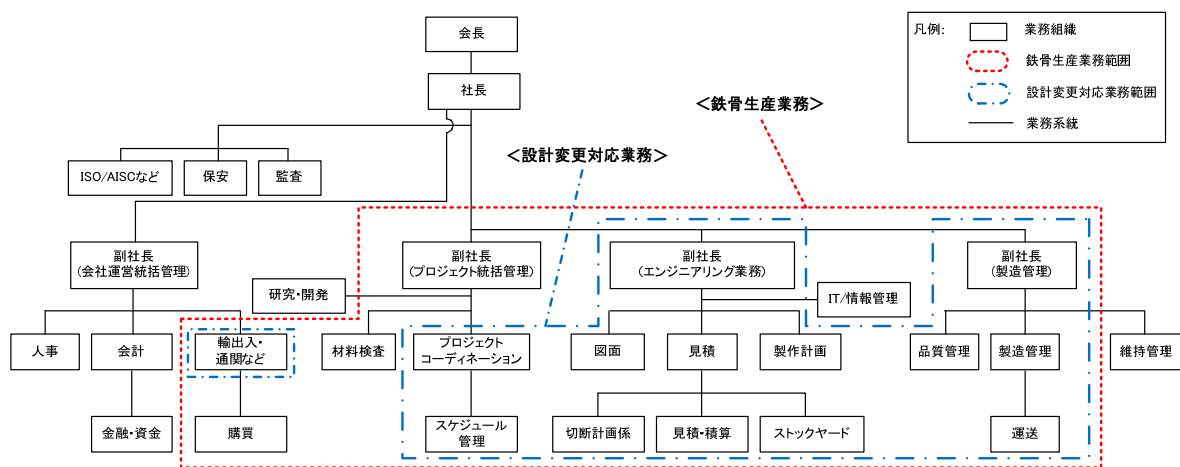


図 4-3 大規模な鉄骨ファブリケータの組織体制(事例)

(出所：調査に基づいて筆者作成)

しかし、調査した鉄骨ファブでは、特に現場との業務調整を円滑に行うため、プロジェクト統括部署を別に設置し、生産スケジュール管理および設計変更対応などの業務を総合的に調整している。

各業務部門の主な業務内容を整理し、以下に示す。

- ・ 会社運営統括管理部門：会社の運営部門として会計・労務管理、輸出入・通関管理など
- ・ プロジェクト統括管理部門：プロジェクトを統括して現場との窓口、生産スケジュール管理、設計変更管理など
- ・ エンジニアリング業務部門(設計・見積・製作計画)：鉄骨製作に必要な全ての情報を作成するなど
- ・ 製造管理部門(鉄骨製作・品質管理)：鉄骨製品生産に関する工場内での全ての業務指示と管理、品質管理、運送など

4.3 鉄骨ファブの設計変更対応業務

鉄骨ファブの設計変更対応業務の把握並びに効率的な設計変更対応業務の処理方式を検討するため、調査対象ファブの設計変更対応業務と意思決定の仕組みを詳細に分析・考察する。なお、当該ファブでは、設計変更対応業務の迅速な推進のために意思決定の仕組みを改善している。

4.3.1 鉄骨ファブの設計変更対応業務（改善前）

近年、建設分野においても社内業務と品質管理に関する体制整備のため、ISO を導入する企業が徐々に増えている。調査した鉄骨ファブは鉄骨生産に関わる全ての業務、とりわけ設計変更対応業務を、ISO を用いて対応する仕組みとしている。ISO では、設計変更対応について管理文書の表紙に、変更内容、生産状況、検討者のサイン、検討開始・完了時間などを記入し、関連部署が検討する回覧方式を勧告している。この鉄骨ファブも DCL (Design change list) 注 2) と呼ばれる一枚の文書(図 4-4)と添付資料を用いて設計変更対応業務を行っている。

Figure 4-4 is a sample of a Design Change List (DCL) form. The form is divided into several sections, each labeled with a circled letter (a, b, c, d) corresponding to the descriptions on the right.

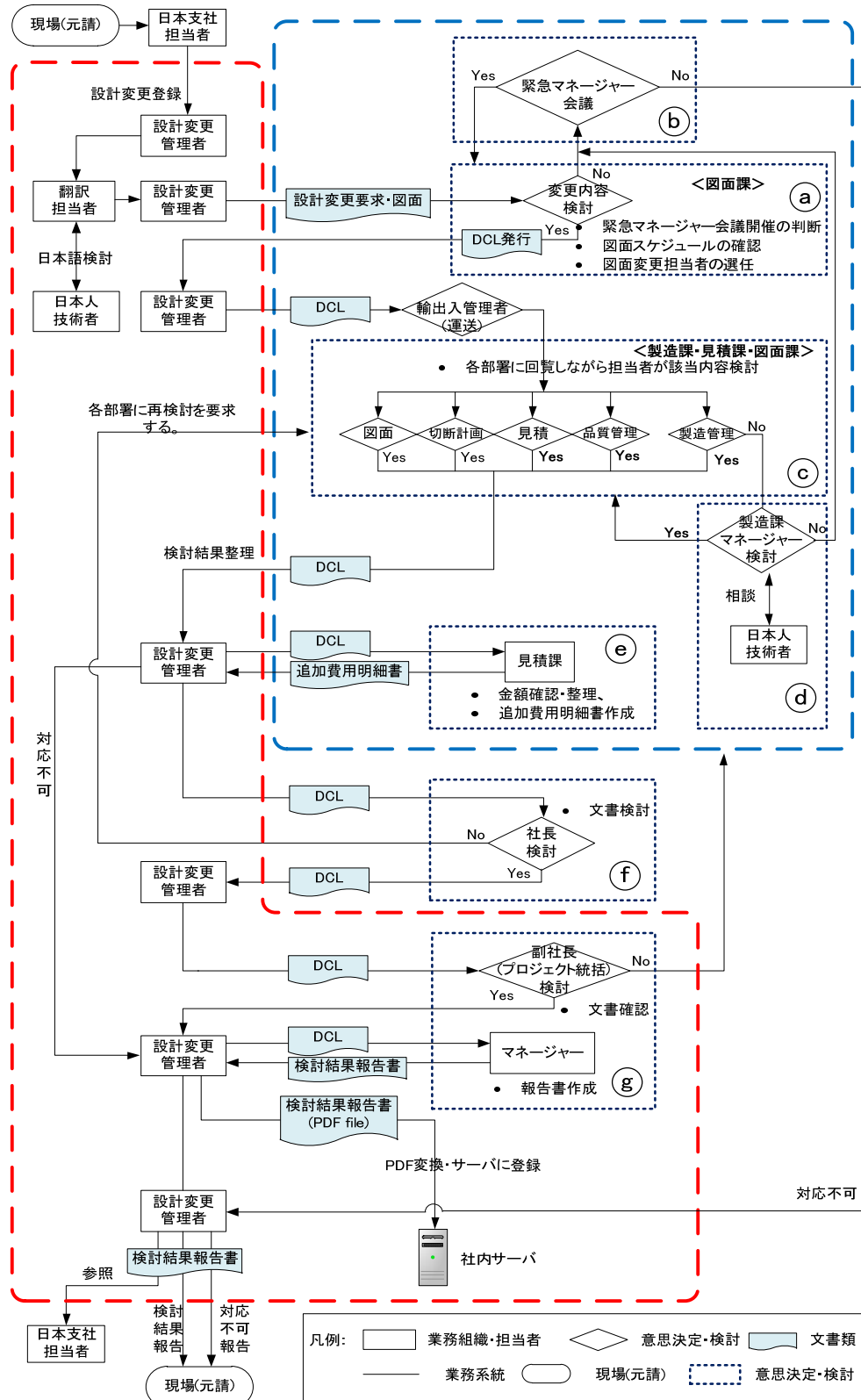
- (a) 変更要求内容 (Change Request Content):** This section contains the details of the change request, including the subject (1. 変更内容 (Subject)), cause (2. 発生原因 (Cause)), and corrective action (3. 是正措置 (Corrective action)).
- (b) 変更対応時期に関する検討内容 (Consideration Content Regarding Change Response Timing):** This section contains checkboxes for revision status: REVISION BEFORE INSPECTION, REVISION AFTER INSPECTION, REVISION WITH LAB FINAL, NO REVISION, and CUT MATERIAL TO SITE.
- (c) 各部署のコストに関する検討内容 (Consideration Content Regarding Costs by Department):** This section is a table showing the cost breakdown by department, including ETO, Estimate, Drawing, Cutting, Production, and QA.
- (d) 検討者サインと検討開始・完了時間 (Inspector Signatures and Start/End Time of Consideration):** This section shows the inspection process with signatures and dates for each department.

図 4-4 調査した鉄骨ファブの DCL 事例

・ (出所：調査に基づいて筆者作成)

<プロジェクト統括管理部門>

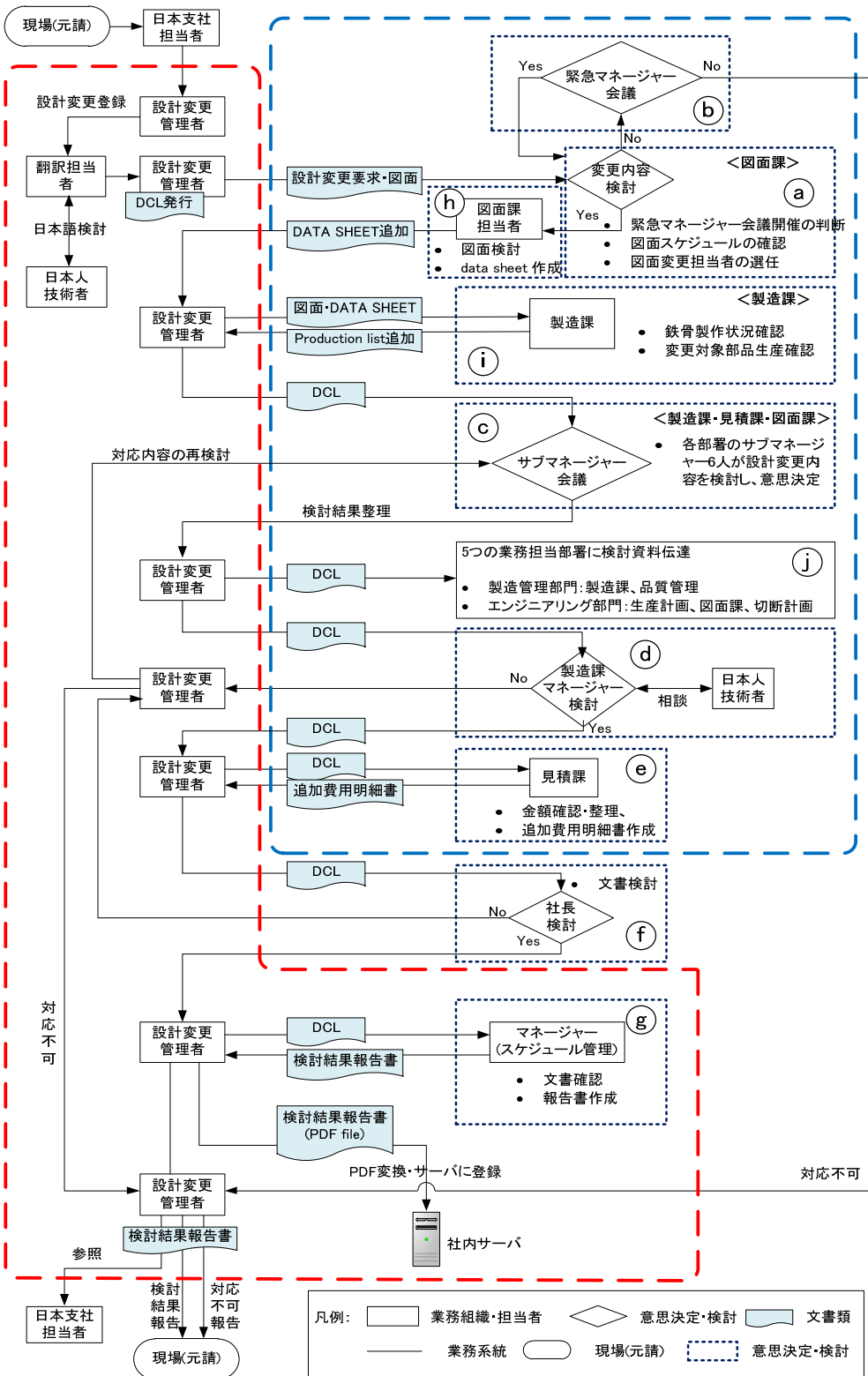
<エンジニアリング部門・製造部門>



(A) 改善前

<プロジェクト統括管理部門>

<エンジニアリング部門・製造部門>



(B) 改善後

図 4-5 鉄骨ファブの設計変更対応業務プロセス

(出所：調査に基づいて筆者作成)

図 4-5 の(A)は回覧方式を用いて設計変更対応業務の体制を構築した設計変更対応業務プロセスの事例を分析したものである。もちろん、各企業の業務方式や組織体制などの違いにより、設計変更対応業務プロセスが異なる場合が多い。

調査した鉄骨ファブは設計変更内容の検討前に図面課のマネージャーが事前検討を行い、緊急の変更内容に対しては、主要部署のマネージャー4 人による緊急マネージャー会議を通じて対応しており、全ての設計変更対応業務にプロジェクト統括管理部門が関与している。また緊急ではない設計変更に対しては、各部署に DCL を回覧しながら変更内容の検討とフィードバックを行い、意思決定の結果が不明確な場合には再検討を実施することもある。

ここで、設計変更対応業務プロセスの全体的な効率性を論じるためには、各対応業務の検討応答時間を用いて評価することが最もわかりやすい方法である。そこで、プロジェクト事例を取り上げて稼働時間(1 日 8 時間)を基準とし、各業務にかかった平均検討応答時間を分析した。具体的には、3つのプロジェクト事例を選択し、DCL に残っている各検討者のサインおよび検討開始と完了時間(図 4-4 の㊸)を基に、各検討業務にかかる平均検討応答時間を計算し、表 4-1 に整理して示す。

表 4-1 設計変更対応に関わる各業務の平均検討応答時間

区分	平均業務時間	備考
図面	29 分	図 4-5 の(A)-㉔
切断計画	28 分	図 4-5 の(A)-㉔
見積 1	8 分	図 4-5 の(A)-㉔
品質管理	3 時間 55 分	図 4-5 の(A)-㉔
製造管理	11 時間 13 分	図 4-5 の(A)-㉔+㊸
見積 2	2 時間 29 分	図 4-5 の(A)-㉔

(出所：調査に基づいて筆者作成)

その結果、製造管理部門における製造ラインの生産計画を調整する業務に長い時間がかかっていることが分かった。その理由は、当時製造管理部門が新プロジェクトの生産計画作成と、設計変更に対する意思決定の結果を生産計画に反映する業務を同時に担当しており、製造ラインの業務調整が難しくなった為である。つまり、①設計変更する鉄骨の製作状況を明確に把握することに一定の時間がかかる。②各製造チームの作業遂行状況と鉄骨の製作状況を同時に考慮して設計変更の対応業務時期を判断することが難しい。③新しいプロジェクトの作業と設計変更作業を各製作チームに配分する時に業務の重要度や優先順位を判断することが難しい。このような理由のために、製造ライン調整の意思決定に平均 11 時間以上かかっている。また、品質管理課と見積課の検討にも 2 時間半から 4 時間程度の時間が所要され、全体的な基本検討の応答時間は、18 時間以上かかっている。

ただし、このような検討応答時間の分析結果を通じて設計変更対応業務を理解するには二つの注意を要する。第一に、実際設計変更ごとの発生時期や業務量、各プロジェクトの遂行環境など

が異なるため、検討応答時間を直接的に比べることはできないこと、第二に、この分析は DCL に記入されている検討業務の開始・完了時間を基に行ったため、同時に複数の業務を行う場合の割合などは考慮していないことである。さらに DCL の伝達過程などにかかった時間も入っているため、この分析結果は設計変更 1 件当たりの実平均検討応答時間を正確に示したものであるとはいえない。しかし、この検討応答時間の分析結果は、設計変更要求に対する鉄骨ファブの回答までにかかる時間を評価することに関しては十分に意味があると考ええる。

4.3.2 鉄骨ファブの設計変更対応業務の改善（改善後）

研究対象の鉄骨ファブの生産工場は海外にあるため、運送を考慮した、より迅速な設計変更対応などが主要な課題になっていた。このため、鉄骨ファブは新たな会議体^{注 3)}を導入することにより設計変更対応業務の合理化を図った。

具体的には、毎日一定の時間に設計変更の意思決定に関与する各部署のサブマネージャー6 人^{注 4)}を集め、DCL を一緒に検討し、意思決定を行う会議体を構築した。改善後の設計変更対応業務プロセスを図 4-5 の(B)に示す。設計変更要求内容は、メール・fax などによる指示と図面への書き込みで受け付け、図面担当者はこれら进行分析、変更箇所・内容をリストアップする。また、製造担当者が製造ラインの稼働状態と該当鉄骨製品の製作状況を確認する。

これらの情報は DCL の添付資料としてサブマネージャー会議で検討される。最終的にその結果はプロジェクト統括部門を通じて各関連部署に伝達される。このような変更対応業務における会議体の運営とその情報の伝達過程を整理したものが図 4-6 である。

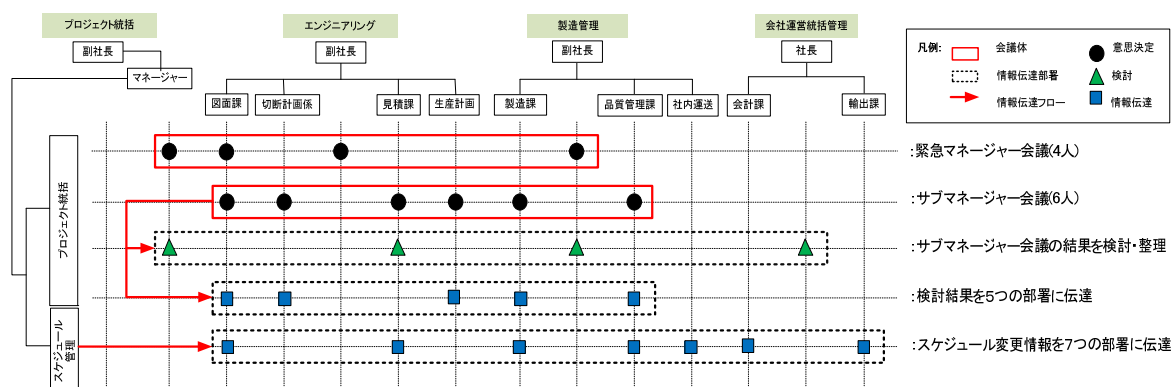


図 4-6 鉄骨ファブの設計変更に関する会議体と変更情報の伝達体系(改善後)

（出所：調査に基づいて筆者作成）

4.3.3 設計変更対応業務の相違点と改善効果の分析

鉄骨ファブの設計変更対応業務の改善内容を明確にするため、図 4-5 の(A)、(B)に示したサブマネージャー会議体導入前後の設計変更対応業務プロセスを比較し、表 4-2 に示す。

図 4-5 と表 4-2 によると、㉔業務の改善により、㉕と㉖の業務が変更され、㉗、㉘、㉙業務が追加された。

表 4-2 業務内容の相違点の比較

	(A) 改善前	(B) 改善後
①	図面課のマネージャー：緊急マネージャー会議の開催判断、図面スケジュールの確認と図面変更担当者の選任	
②	緊急マネージャー会議体：重大な変更内容に対して対応可否判断	
③	各部署の担当者：回覧して関連内容を検討	サブマネージャー会議体：変更内容検討・意思決定
④	製造課マネージャー：製造ライン業務を検討・調整	製造課マネージャー：製造ライン主要業務を検討調整
⑤	見積担当者：変更所要費用計算・追加費用明細書作成	
⑥	社長：設計変更対応内容・文書検討	
⑦	プロジェクト統括：文書検討	プロジェクト統括：文書確認
⑧	なし	図面課：検討した図面と内容添付
⑨	なし	製造課：鉄骨製作状況確認
⑩	なし	5つの部署：サブマネージャー会議の検討結果を通報

(出所：調査に基づいて筆者作成)

このようなサブマネージャー会議体の導入により、設計変更対応について社内各部署間の意見交換が円滑になり、時間短縮（会議時間は1時間以内に終わることが基本方針）とともにより明確な意思決定が可能となった。これらの直接的な改善効果とともに間接的な効果もある。例えば、①特殊なケース以外の設計変更対応はサブマネージャーが担当してマネージャーとサブマネージャーの役割分担関係がより明確になった。②設計変更対応に関する各部署の文書作成や管理などの役割分担と責任関係が確立されて業務の迅速化が可能となった。③設計変更対応検討とともに、部署間で多様な情報の交換ができる仕組みになった。しかし、この業務改善で注意を要することとして、課題となったことは以下のとおりである。

- ① 検討応答時間の短縮と業務調整負担の減少を求める余りに拙速な会議体の導入は、かえって無用な混乱（不明確な意思決定、複雑な情報の流れなど）を生ずる恐れがあること。従って、実質的に改善効果があるプロセスを中心に会議体を構築して実践に移すことが重要である。
- ② 意思決定の権限に関するマネージャーとサブマネージャーの役割分担の明確化が重要であること。
- ③ 設計変更の重要度による意思決定の基準などを明確に定義する必要があること。とりわけ、サブマネージャーの意思決定に関する具体的な権限の限界範囲を提示する必要がある。

4.4 設計変更に対する意思決定の仕組み

4.4.1 意思決定の過程とその内容

鉄骨ファブが行う設計変更に対する意思決定の内容は、主に二つある。第一は対応時期の決定である。つまり設計変更の要求時期、例えば製作開始前、製作中、品質検査前、品質検査後などにより生産計画・製作ライン状況などを考慮し、いつ変更作業を実施するか決めることである。第二は対応方法の決定である。変更内容と製作状況によって変更部位又は部品に関する作業方法を決める。具体的な対応方法としては、部品の追加・変更・移動・取消・切り取りなどが挙げられる。

本章では、第3章で変換モデルの開発に活用した3つのプロジェクト事例を対象とし、社内資料^{注5)}と担当者からのヒアリングに基づいて意思決定の過程とその内容を詳細に分析した¹³⁾。

その結果、対応時期の決定（図4-4の⑤）については、製作開始の可否（レベル1）、製作ラインの状況（レベル2）、変更処理の可能時期（レベル3）に関する情報を用い、段階的に検討・判断している。さらに、対応時期に関する判断を細かく分類すると、六つのタイプにまとめられる。このように対応時期のタイプが分類される理由は、設計変更が製造ラインに与える影響を最小にし、生産を継続しながら設計変更に対応する意思決定を行うためである。それらのタイプを整理し、分岐ダイアグラムとして図4-7に表す。

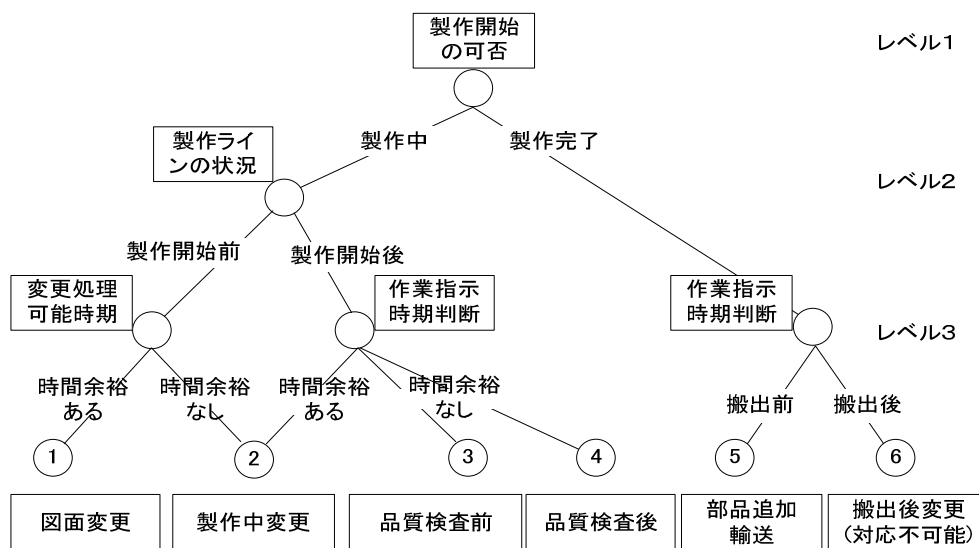


図 4-7 変更対応時期の判断に関する意思決定

（出所：調査に基づいて筆者作成）

さらに、3つのプロジェクト事例を図4-7の設計変更に対する意思決定の対応時期によって分類し、実質的な設計変更業務量や影響を理解するために、鉄骨単位と部品単位で設計変更頻度をカウントしたのが表4-3である。表4-3ではその頻度を、全体を100として①～⑥の区分ごとの頻度を百分率で表している。部品単位でみた場合、事例A・Bでは95%以上が品質検査前（表4-3の区分①～③）に変更内容を処理したことが分かる。しかし、事例Cの場合、A・Bより短期間

に鉄骨を製作したため、品質検査後に対応を遅延して処理した割合が 30%を超えたが、大部分は品質検査後に対応しても問題はさほど発生しないと言えるほど、小さなものであったことが予想される。ちなみに、表 4-3 でいう鉄骨とは柱、梁等の鉄骨製品に製作されたものといい、部品とは鉄骨製品になる前の、厚板から切り出された部材のことをいう。

実際にも鉄骨ファブは、主材などの重要な変更が発生した場合、該当鉄骨製品の製作を中断し、他の製作ラインに移動して対応し、主材以外に関する変更は製作を継続して対応することが一般である。

表 4-3 設計変更対応時期に関する意思決定頻度(事例)

事例/区分		①	②	③	④	⑤	⑥
A	鉄骨	19.2%	14.4%	56.5%	7.5%	0.2%	2.1%
	部品	30.4%	8.5%	55.6%	4.3%	0.01%	1.1%
B	鉄骨	28.7%	21.0%	32.8%	12.8%	0.4%	4.2%
	部品	23.4%	27.7%	44.6%	3.3%	0.3%	0.7%
C	鉄骨	7.9%	16.3%	42.5%	29.8%	0.6%	2.2%
	部品	7.7%	18.0%	36.7%	35.4%	0.3%	1.5%

(出所：調査に基づいて筆者作成)

一方、対応方法に関する意思決定については、通常、図面に表記されている内容を図面担当者が読み取って変更対象の部品リスト(bill of material)を作成し、DCL の添付資料とする。他部署は、それに基づいて設計変更に対する対応業務を具体化する。例えば、切断計画の担当者は、その部品リストと図面を用いて新たな切断計画を作り、見積の担当者は変更対応にかかる材料量と労務量を計算するなど、各部署は DCL を基に設計変更対応業務を行っている。

設計変更対応の具体的な内容を明確にするために、設計変更対応を部品ごとに「追加（部品の追加）」「変更（部品寸法の変更）」「移動（部品位置の移動）」「取消し（部品の取り消し）」「切り取り（取り付けた部品の切り取り）」の 5 つの対応方法に分け、それぞれの対応方法を採用する頻度を、全体を 100 として対応方法の 5 つの区分ごとの頻度を百分率で表したものを表 4-4 に示す。

表 4-4 設計変更への対応方法に関する意思決定内容(事例)

区分	追加	変更	移動	取消し	切り取り
事例 A	73.1%	18.3%	6.0%	2.6%	0.1%
事例 B	76.3%	3.5%	1.5%	15.8%	2.8%
事例 C	70.9%	13.9%	8.3%	5.8%	1.2%

(出所：調査に基づいて筆者作成)

表 4-4 から次のことが言える。いずれのプロジェクトも部品の追加業務が 70%以上を占めている。つまり、鉄骨製作開始後になっても、設備など他の工種との取合い検討、現場施工環境の変化、構造的な不備の修正など様々な検討の間違いや遅れのため、部品の追加業務が多く発生している。また、寸法変更・位置移動・部品の取消し業務が生じる割合が、21~28%程度であった。また、設置した部品を切り取る作業は、事例 B の場合全設計変更部品数の 2.8%を占めているが、他のプロジェクトでは少なかった。切り取り作業が多く発生すると製作費が高くなり、鉄骨ファブの生産性も低下する。特に、事例 B の場合 7 社のゼネコンが工事を分担したため、一回変更した鉄骨を再度変更したケースもある。

このような対応時期と対応方法に関する二つの意思決定の内容は、明確に分けられるものではなく、両方を考慮しなければならない。例えば、製作完了後に部品を変更した場合、まず取り付けた部品を切り取り、新たな部品を追加する。

一方、製作開始前に部品を変更した場合、図面変更のみで対応できる時があれば、変更部品を除いて製作を継続して対応する時もある。さらに意思決定過程では、この二つの情報と共に変更に必要な費用・必要材料の保有状況・新たな切断計画に関する検討も行われる。

上述のような比較的対応しやすいものもあれば、幾つかの困難な状況も起こりうる。例えば、設計変更一件で数多くの製品・部品に関わるもので、製作開始後に変更要求があった場合、主要部材の材料不足が発生することがある。また、設計変更の責任が不明確な状況が発生することもある。具体的には、設計変更要求に対する鉄骨ファブの意思決定が遅くなり、追加的変更費用が発生した場合、鉄骨ファブにも責任の一端が生ずる。これらに迅速に対応するためにも、設計変更に対する鉄骨ファブの意思決定の仕組みを改善する必要がある。

4.4.2 鉄骨ファブの会議体の仕組み

鉄骨ファブの設計変更と生産業務に対して実務者のヒアリングと資料分析により、会議体の仕組み、各会議体の参加者と意思決定の範囲、会議体の位置付けを詳細に分析した。その結果は既に述べたとおりであるが、調査対象鉄骨ファブが構築している会議体の仕組みは、設計変更関連対応のものより通常の生産関連対応の会議体のほうが多く、さらに設計変更対応業務に必要な情報の一部は生産関連会議体を通じて明確になっている。

このような鉄骨ファブの会議体の仕組みを意思決定の権限と役割分担の面で見ると、調査対象鉄骨ファブに関しては、機能的組織(functional organization)^{注 6)}の形態から、徐々に分権的組織(decentralized organization)^{注 7)}に移行しているとみなすことができる¹⁷⁾。すなわち、会社規模の拡大や生産量の増加により、ほとんどの重要な意思決定と業務調整をマネージャーが担当する仕組みから、生産性を高めるため、サブマネージャーを会議体に参加させる仕組みに変化してきたと考えられる。しかし、これが鉄骨ファブ一般の傾向か否かは判然としない。

表 4-5 鉄骨ファブの各会議体の位置付けと参加者の範囲

	会長	社長	副社長	マネージャー	サブマネージャー	係長	社員	会議内容
設計 変更 関連 会議			緊急マネージャー会議					鉄骨生産に大きな影響を与える設計変更を検討する緊急にマネージャー会議
					サブマネージャー会議			通常の設計変更対応策と業務調整を検討するサブマネージャー会議
生産 関連 会議		週間会議						毎週 1 回全部署の主要業務担当者を集めて生産日程を調整する会議
		役員会議						会社の運営に関する全般的な事項を検討する会議
		社長会議						生産・設計変更を含めて各部署の業務をチェックする会議
			マネージャー会議					他部署との業務協力と調整を要する生産関連問題を検討する会議
			各部署内部会議					各部署の内部で業務の指示と確認、並びに業務調整を行う会議

(出所：調査に基づいて筆者作成)

4.5 小結

本章では、鉄骨工事の合理的な設計変更対応体制を検討するために、実際に鉄骨工事の設計変更を担当している鉄骨ファブの対応業務とその意思決定の仕組みを詳細に分析した。また、より円滑な意思決定を行うために、サブマネージャー会議を導入した事例を取り上げ、導入前後の改善効果と課題を考察した。

本章で得られた具体的な成果は以下のとおりである。

鉄骨ファブがサブマネージャー会議体を導入することによって、設計変更要求に対して意思決定のプロセスを迅速化し、設計変更対応業務時間を短縮する効果を上げていることを実証的に検証した。一方で、この業務改善で注意を要することとして、いくつかの課題を提示した。今後の鉄骨ファブの課題としては、①会議体を効率的に支援することが可能な情報システムの確立、②会議体の編成・役割分担の明確化がある。

また、鉄骨工事に関わる各生産主体の業務と情報の流れを明確化し、合理的な設計変更対応体制を構築する視点では、発注者、設計者、ゼネコン、そして鉄骨ファブとの設計変更対応業務を含んだ鉄骨生産システムの一貫管理体制の構築について検討が必要である。

注

- 注 1) 日本の「鉄骨製作工場認定制度」に登録されている海外の鉄骨生産工場は、2011 年現在、約 20 社に至って、中国・タイ・韓国などに所在している。
- 注 2) DCL とは、Design change list と呼ばれる様式の略語であり、設計変更に関する鉄骨ファブの ISO に規定されており、細部的な内容は会社別によって異なるが、基本的に変更内容、製作状況、検討・日付などの記入欄で構成されている。
- 注 3) 会議体とは、正確な意思決定のために、企業内部の業務担当者又は意思権限を持つ人が集まって行うものである。
- 注 4) 研究対象とした鉄骨ファブでは、各部門長としてのマネージャー、部下としてサブマネージャーが位置する。しかし、サブマネージャー会議に参加するサブマネージャーの権限は組織位階とは異なり、各部署内の業務と役割分担に依存する位置である。
- 注 5) 分析に使った社内資料は、プロジェクトの生産スケジュール、製作計画、DCL、製品リスト、部品リスト、現場との打合せ議事録などである。
- 注 6) 機能的組織とは、外部環境の流動性かつ不確実が低い際には、社内部門間において業務調整の必要性和困難性も低いため、ほとんどの重要な意思決定と業務調整を組織階層の上位者としてマネージャーが担当し、個々の部署は、意思決定に必要とされる情報を十分に持つことが出来ないことが短所として指摘されている。
- 注 7) 分権的組織とは、組織の各部門の独立性と自律性を持たせた下位組織を作り、意思決定の権限を分権した組織体制である。また、執権的組織(centralized organization)の反対概念であり、下位組織間の調整が困難する場合が多く、役割が不明確になる短所がある。

参考文献

- 1) Awad S. Hanna, et.al: Quantitative Definition of Projects Impacted by Change orders, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128. No. 1, pp57-64, 2002.2
- 2) William Ibbs: Impact of Change's Timing on Labor Productivity, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 131. No. 11, pp1219-1223, 2005.11
- 3) William Ibbs, et.al: Quantified Impacts of Project Change, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 133. No. 1, pp45-52, 2007.1
- 4) 梅国章他：鉄骨製作における分業体制に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1 都市計画 建築経済・住宅問題、pp1287-1288、2010.7
- 5) 金貞坤他：鉄骨生産における情報一貫管理に関する考察、日本建築学会技術報告集、第 17 巻、第 37 号、pp1037-1042、2011.10
- 6) William Ibbs, et.al: Project Change Management System, Journal of Management in Engineering, Vol. 17. No. 3, pp159-165, 2001.7
- 7) S.H. Lee, et.al: Web-Enabled System Dynamics Model for Error and Change

- Management on Concurrent Design and Construction Projects, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 20. No. 4, pp290-300, 2006.7
- 8) L. Song, et.al: Virtual Shop Model for Experimental Planning of Steel Fabrication Projects, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 20. No. 5, pp308-316, 2006.9
 - 9) I.A. Motawa, et.al: An integrated system for change management in construction, Automation in Construction, Vol. 16, Issue3, pp368-377, 2007.5
 - 10) 浦江真人他：ファブ-ゼネコン間の連携資料からみた鉄骨製作段階における仕様決定の実態：その 1 仕様の決定の遅れ・変更の発生する部分とその内容、日本建築学会大会学術講演梗概集、F 都市計画 建築経済・住宅問題、建築歴史・意匠、pp1031-1032、1994.7
 - 11) 蟹澤宏剛他：ファブ-ゼネコン間の連携資料からみた鉄骨製作段階における仕様決定の実態：その 2 鉄骨ファブの工程プロセスと仕様の確定状況、日本建築学会大会学術講演梗概集、F 都市計画 建築経済・住宅問題、建築歴史・意匠、pp1033-1034、1994.7
 - 12) 渡辺克己他：鉄骨ファブの業務に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1 都市計画 建築経済・住宅問題、pp1125-1126、1997.7
 - 13) 金貞坤他：鉄骨工事における設計変更の発生原因と鉄骨ファブの対応策、日本建築学会、第 27 回建築生産シンポジウム論文集、pp213-218、2011.7
 - 14) G. Karumanasseri, et.al: Decision Support System for Scheduling Steel Fabrication Projects, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128. No. 5, pp392-399, 2002.10
 - 15) L. Song, et.al: Measuring and Modeling Labor Productivity Using Historical Data, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 134. No. 10, pp786-794, 2008.10
 - 16) ISO9000 resource homepage, <<http://www.iso9000resources.com/ba/engineering-change-procedure.cfm/>> (2011 年 5 月 20 日検索)
 - 17) 古川久隆：組織デザイン論-社会心理的なアプローチ、pp29-33、1988.9

第5章 鉄骨工事における設計変更対応業務の実態

5.1 はじめに

(1) 研究の背景

鉄骨工事における変更としては、他工事からの影響以外に、設計図書の不具合および寸法の間違い、発注者の部屋配置調整および構造形式変更、施工工程変更による施工業務調整、鉄骨生産に関わる図面作成・鉄骨製作・輸送過程に発生する作業ミスなどが指摘されている^{1) 2)}。特に、鉄骨工事の場合、材料発注から鉄骨製作・輸送・現場の建方に至る全体的な鉄骨生産期間が長く、設備・内装・仕上げなどの工事との密接な関係があるため、他工事からの影響を直接受けて設計変更が多く発生している。その結果、現在の設計変更対応業務は設計変更が発生した際の業務進行状況を総合的に把握する間もなくゼネコンとサブコン又は鉄骨ファブリケータ(以下、鉄骨ファブ)が協力し順次検討する形で設計変更に対応していることが少なくない³⁾。しかし、全ての鉄骨工事における設計変更の発生要因を把握するだけでは設計変更に関する効率的な対応は不可能である。その理由は、各プロジェクトの組織構成や業務フローの差異に起因して変更内容や発生時期が異なっており、その対応業務に関与する関係者とその役割分担の差が存在するためである。

このような鉄骨工事における設計変更の発生と対応業務の差異は根本的にプロジェクト発注方式やプロジェクト規模に伴う生産組織とその体制によるものであるが、プロジェクトごとに設計変更の発生頻度や発生時期が異なる。

(2) 研究の目的

本章では、鉄骨工事における設計変更対応業務の問題点と改善課題を明らかにすることを目指し、以下の二つを研究の目的とする。

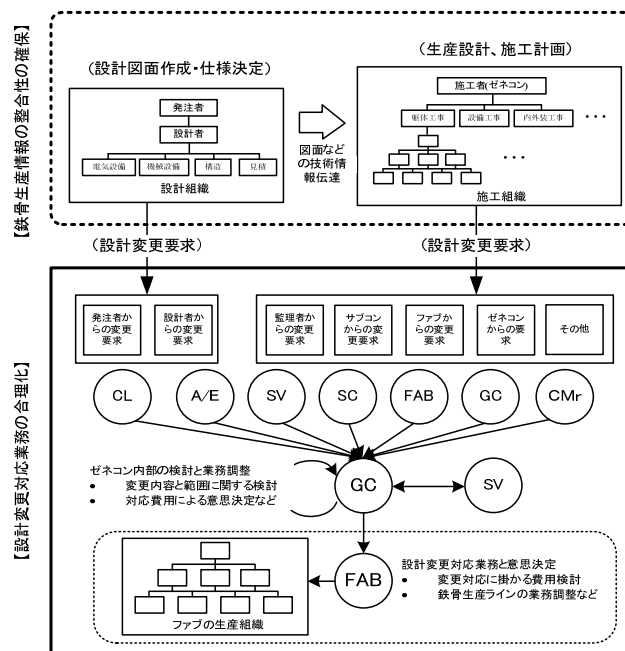
- ① 鉄骨工事における設計変更の要求から最終対応までの業務の一連の流れの把握、ならびに各業務段階での業務内容と意思決定の基準などの詳細を分析し、鉄骨工事における設計変更対応業務の全体像から問題を明らかにする。
- ② 設計変更対応業務に掛かる費用を分析し、鉄骨工事の関係者らの人的・経済的負担を軽減するために、設計変更対応業務の仕組みや対応方法を合理化するための改善課題を検討する。

(3) 研究の方法と範囲

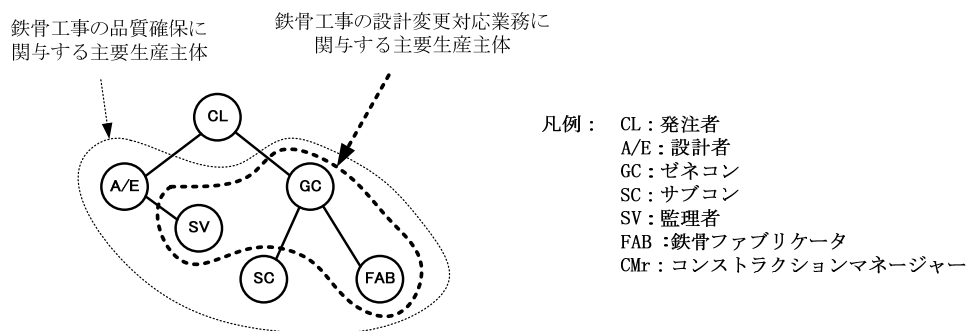
設計変更に対する鉄骨ファブの対応業務を扱った第4章に続いて、鉄骨工事の設計変更対応業務に関する全体的な仕組みを把握するために、設計変更の要求からそれに対するゼネコンの検討、鉄骨ファブの対応、鉄骨製作ラインの最終段階まで一連の業務を研究する。各プロジェクトの鉄骨工事に関する工事管理資料、設計変更管理資料、現場打合せの議事録などから、設計変更の原因・変更要求者、変更時期、変更内容などを把握し、それに基づいて各プロジェクトのゼネコンと鉄骨ファブの設計変更担当者に対してヒアリングを行い、設計変更対応業務や意思決定の内容を詳細に分析する。一方、鉄骨工事の関係者らの負担を軽減するような設計変更対応業務の仕組

みや対応方法を検討するために、設計変更対応費用についても分析を行う。また、変更タイミングと対応費用の関係を明確にするために、調査対象のプロジェクト事例から設計変更の事例を選んで費用計算のための想定シナリオを作成し、対応費用のシミュレーションを行う。最後に、調査結果を総合的に検討し、意思決定を含んだ設計変更対応業務に関する問題点とその改善方を考察する。

国土交通省の報告書²⁰⁾では、鉄骨工事の品質確保は図 5-1 の(b)に示すような 5 者の協力体制を強調したが、本章は、鉄骨工事の設計変更対応業務に限定して扱うため、その中の 3 者（ゼネコン・監理者・鉄骨ファブ）の業務を中心に考察を行う。



(a) 設計変更対応業務の概念図（出所：筆者作成）



(b) 設計変更対応業務の合理化に関する検討範囲

（出所：資料²⁰⁾に基づいて筆者作成）

図 5-1 研究の全体像

■ 調査対象プロジェクトの概要と特徴

本研究では、設計施工一括と分離方式のようなプロジェクト発注方式による鉄骨生産組織の体制および情報伝達の差異が、設計変更の発生タイミングや内容に大きな影響を与えていることに着目して、発注方式が異なる2つのプロジェクト(設計施工一括と分離各1件)を選び、鉄骨工事における設計変更対応業務の実態を明らかにする。

調査対象の鉄骨工事は、設計変更の発生頻度および発生時期の差異を比較するために、既に完了したプロジェクトを選択する。また、特殊な工法やタイプの鉄骨を用いた工事ではなく、一般的な梁と柱を使った鉄骨工事である。設計変更対応業務に関する資料には、その中の鉄骨ファブ1社(以下、M社と呼ぶ)とゼネコン(以下、K社と呼ぶ)の社内の資料を用いる。具体的な調査対象プロジェクトの概要を整理して表5-1に示す。

表5-1 調査したプロジェクトの概要と特徴

プロジェクト		事例D	事例E
建物の用途		事務所・商業施設	事務所
建築面積		約 8,000 m ²	約 3,000 m ²
延床面積		約 170,000 m ²	約 60,000 m ²
階数		地上 20 階	地上 22 階
軒高		約 95.0m	約 102.0m
工事期間 (着工～竣工)		24 ヶ月	20 ヶ月
鉄骨製作期間		10 ヶ月	13 ヶ月
鉄骨工事期間	地下工事	1 ヶ月	2 ヶ月
	地上工事	6 ヶ月	9 ヶ月
組織構成	鉄骨ファブ(躯体)	1 次 3 社、2 次 5 社	3 社
	設計図作成	設計事務所設計	GC 自社設計
	製作図作成	GC(現場)	鉄骨ファブ
鉄骨類		柱、大梁	柱、大梁
全体鉄骨工事量(トン)		約 26,000	約 11,000
社製作分鉄骨量(トン)		約 12,000	約 6,000
設計変更 (M 社)	変更要求件数(件)	91	15
	設計仕様の変更(件)	3	1

(出所：ゼネコン (K 社) と鉄骨ファブ(M 社) の提供資料に基づいて筆者整理)

(4) 既往研究

建築プロジェクトにおける設計変更については、以前から多くの研究者が扱っている。特に、米国の CII(Construction Industry Institute) 注1)では、研究機関として大学と企業が協力して研究会を設立し、設計変更がプロジェクトに与える影響(1988-1992)、設計変更管理(1992-1994)、設計変更の累積影響(1998-2000)などの研究を行い、最近では、プロジェクトの様々な変更要因を考慮して変更の影響を定量化する研究(2011-2013)を行っている⁴⁾。このような CII の研究成果は、報告書や研究メンバーの論文を通じて発表されており、Ibbs が、プロジェクト規模による設計変更の影響の定量的な評価⁵⁾、設計変更対応システム⁶⁾、発注方式の差異による設計変更

の影響の定量的分析⁷⁾、さらに設計変更による労働生産性への影響^{8) 9)}を扱い、また、Hanna は、プロジェクトに与える設計変更の影響定義¹⁰⁾、設計変更の累積影響に関する研究^{11) 12)}、小規模プロジェクトに与える設計変更の影響¹³⁾などの研究を行っている。

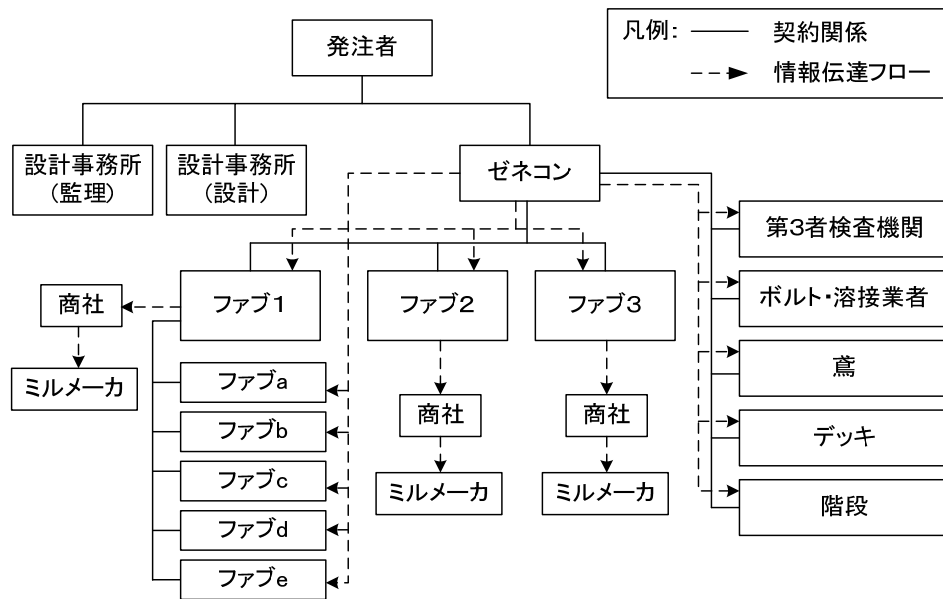
一方、日本では、古阪が、建築分野での生産設計の概念を定義し、VE(Value Engineering)^{注2)}的検討を通じた設計変更の役割を提示した¹⁴⁾。また、設計変更の部位やその要因・関係者に関する研究から設計変更が組織分断の影響を受けて発生、仕様決定の過程と密接な関係にあることを指摘した¹⁵⁾。その後、峰政¹⁶⁾¹⁷⁾や勝山¹⁸⁾が、建築プロジェクトにおける生産情報の確定過程を詳細に分析し、実施設計段階での変更が工程・工事費に与える影響を検討した。一方、鉄骨工事の設計変更に関する研究については、蟹澤¹⁾²⁾が設計変更の原因およびその内容に関する研究を行い、金³⁾¹⁹⁾が設計変更に対する鉄骨業者の対応業務を研究した。しかし、設計変更の発生時期やその内容、関係者の業務を扱った設計変更の発生とその対応の包括的な研究は数少ない状況である。

5.2 鉄骨生産組織体制と鉄骨製作図の作成

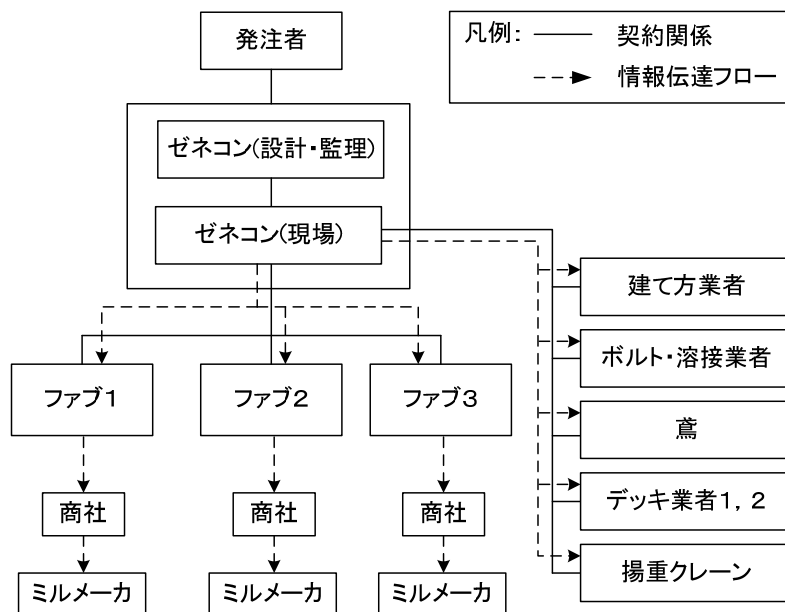
5.2.1 鉄骨生産組織体制

鉄骨生産組織体制は、広義には発注者を含む鉄骨仕様決定・生産に関わる全ての関係者、狭義には鉄骨生産を直接に担当しているゼネコン、サブコン、鉄骨ファブなどが含まれる。ここでは、鉄骨工事における設計変更対応業務の仕組みを把握するために、2つのプロジェクト事例に基づいて、狭義の範囲で鉄骨生産組織体制やその中の情報フローなどを分析する。調査した2つの事例では、工事規模や期間により鉄骨生産組織体制が異なる(図 5-2)。特に事例 D では、一次鉄骨ファブ 3 社が鉄骨生産を分担しているが、その中の一社は鉄骨製作を除いた業務を行い、実質的な鉄骨製作は二次鉄骨ファブが担当する。また、それ以外の鉄骨ファブは自らが鉄骨製作を行っている。事例 E では、鉄骨ファブ 3 社が自らの製作分に関わる材料発注から製作図作成、鉄骨製作に至る業務を行っている。

このように鉄骨生産に関わる組織体制が異なる事情は以下のとおりである。事例 D の場合、各鉄骨ファブの生産能力の限界から多数の鉄骨ファブが参加し、さらに鉄骨製作期間が短い場合には 2 次下請けの鉄骨ファブも参加している(図 5-2 の事例 D)。また、鉄骨生産の組織体制の変化には、バブル期以降からの鉄骨ファブの専門化や分業化による影響もある。事例 E の場合、鉄骨製作期間が十分に長く、設計をゼネコンが担当したため設計変更が少なかった。このような鉄骨生産組織体制の複雑化は、プロジェクトにおける生産情報の決定や伝達の過程に少なからず影響を与えており、その結果、設計変更の発生と対応業務の複雑化の要因となっている。図 5-2 は各プロジェクト事例の鉄骨生産に関する組織体制を整理して表したものである。



(a) 事例 D の鉄骨生産体制：設計施工分離



(b) 事例 E の鉄骨生産体制：設計施工一括

図 5-2 各事例における鉄骨生産組織体制

(出所：調査資料とヒアリングに基づいて筆者作成)

5.2.2 鉄骨製作図の作成

(1) 鉄骨製作図の作成プロセス

鉄骨を製作するためには、構造図に基づいて一般図および製作図などの鉄骨製作に用いられる図面を作成しなければならない。その図面の作成フローは、プロジェクトごとに多少異なっており、大きくは一般図(伏図、軸組図、アンカー伏図など)及び部品リストなどを作成する段階と製作図(鉄骨単品詳細図、継手基準図、溶接基準図など)を作成する段階に分けられる。

調査した事例DとEは一部に異なる図面作成フローが見られる。具体的には、事例Dでは、着工が遅れたため一般図や製作図の作成をゼネコンが担当している。しかし、これは一般的なことではなく、着工が遅れて図面作成期間が足りなかった特殊な事例である。その結果、設計変更も発生し、現場で決められる仮設工事や付帯工事などに関する変更が多く発生した。一方、事例Eでは、一般図や工作図を鉄骨ファブが作成し、ゼネコン(現場)と監理者はその提出された図面を検討・承認している。図5-3は事例DとEの図面作成過程を比較して示すものである。

二つの事例では、ほぼ同様の鉄骨製作図面を異なるプロセスを通じて作成した。しかし、設計変更の発生件数事例Dが事例Eより6倍となっている。また、鉄骨図面と他の工事との取合い検討については監理者が主に担当する。調査した事例Dは第3者監理者が担当し、事例Eはゼネコンの自社監理である。

このような監理方式の差は設計変更の発生と何らかの関係があると考えられるが、その差は発注方式に起因する部分が大い。つまり、監理者のプロジェクトへの参加時期が重要である。また、施工図の作成・承認、さらに検討時の役割分担関係として検討が必要なことである。

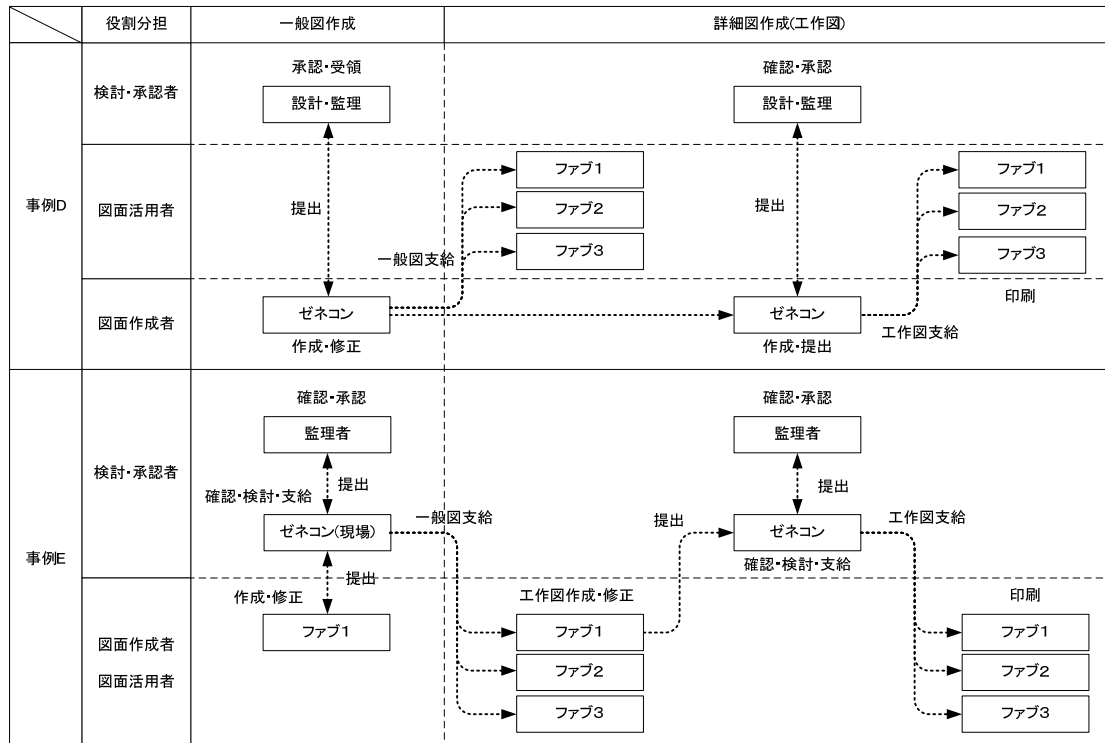


図 5-3 各事例における鉄骨製作図面作成プロセス

(出所：事例D、Eの担当者とのヒアリングに基づいて筆者作成)

（２）鉄骨製作図の作成に必要な情報

鉄骨製作図面を作成するために、事前に決定すべき幾つかの仕様がある。例えば、梁・柱の取り付ける位置やレベル、キャンバーなどの構造体に関する情報、およびスリブ・階段・仮設・エレベータなどの付帯施設の仕様決定と取合い検討より定められる情報などが、鉄骨図面の作成に反映すべき情報である。

しかし、プロジェクト全体の工程では、鉄骨などの躯体工事以降に、設備・内装・仕上げなどが行われるが、それに関係する仕様を事前に決めなければならない。さらに、鉄骨は建築プロジェクトに使われる材料のうち製作期間が最も長いため、早期に製作を開始する場合が一般的である。このように、他の工事や現場作業のための仕様決定のタイミングは、鉄骨生産に大きな影響を与える制約条件となっている。

図 5-4 は、鉄骨製作図面の作成にあたって考慮すべき他の工事の仕様決定時期と、工作図作成に反映する期間を整理したものである。鉄骨製作期間を短縮するために、まず鉄骨の構造体に関する仕様を決定し、付帯施設・仮設工事などに関する部品仕様は後で決めることが通常的方式である。この方式は全ての仕様を決めて図面を完成させずとも製作開始ができるメリットがあるが、他の工事からの仕様検討が遅くなると、工期遅延の負担は鉄骨ファブが引き受けることになる。調査した事例 D と E でもこの方式で他の工事からの仕様を反映して図面を作成した。しかし、二つのプロジェクトでは考慮した仕様項目が異なっている。この差は各プロジェクトの規模や仕様内容によって発生するが、鉄骨担当者の経験や主観に起因する場合も多い。

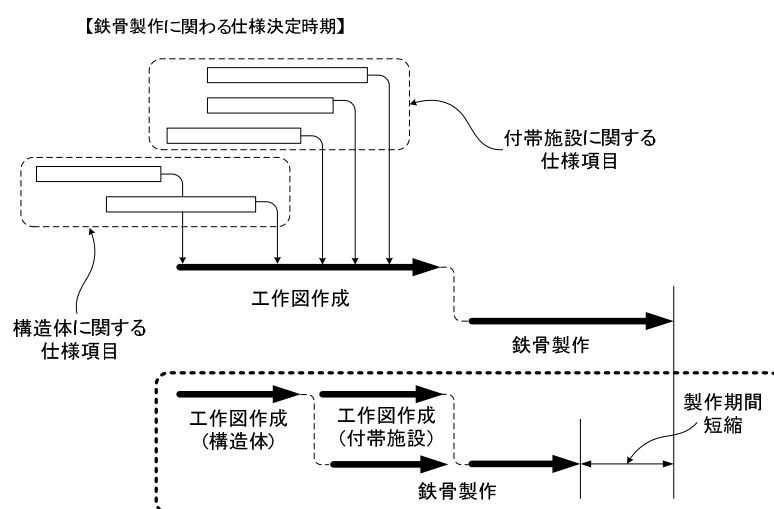


図 5-4 鉄骨製作図面の作成に考慮すべき他工事の仕様決定時期と鉄骨生産スケジュールとの関係
(出所：筆者作成)

図 5-5 は各事例での図面作成スケジュール表から得られた項目を比較して示したものである。具体的な違いとしては、考慮項目数・詳細度・項目分類名等が挙げられるが、特に管理面での差異が明らかであるのは項目分類名である。

事例 D は業務管理を考慮して工事計画と設計に、事例 E は物を考慮して構造体と付帯施設に反

映項目を分類した。これはプロジェクトや現場の担当者の個人差によるものである。したがって、鉄骨製作図面の作成に必要な他工事の仕様については、効率的な管理のために、考慮すべき項目分類を標準化する必要がある。

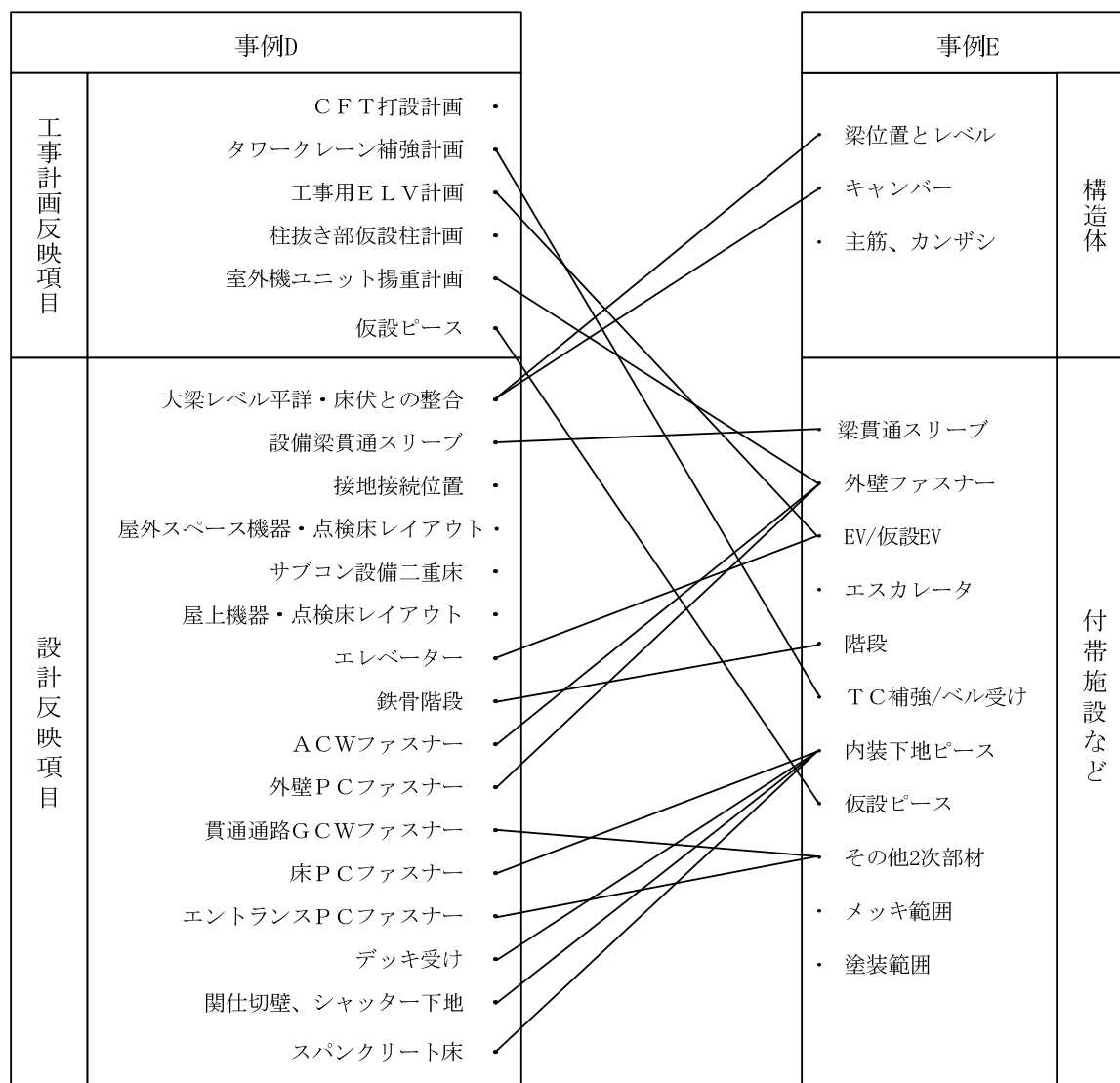


図 5-5 鉄骨製作図面の作成に考慮した項目 (事例分析)

(出所：アンケート資料と調査資料に基づいて筆者作成)

5.3 鉄骨工事における設計変更対応業務の分析

ここで、設計変更対応業務を連携分析^{注3)}する理由は、単純に業務フローを把握するためではなく、プロジェクトの変更対応システムの問題点の可視化するためである。問題点を可視化するために、先ずプロジェクト関係者が段階的に検討している対応業務の連携分析を行い、次に実プロジェクトの業務データを入力してプロジェクトごとの特徴を比較する。

そのために、事例 D と E の設計変更対応業務に関する調査を行い、設計変更要求から最終対応までの業務フローを連携分析した。その結果、設計変更対応業務は、大きく 4 段階に分けられる。【1 段階】変更受付と検討、ファブへの検討依頼など、【2 段階】ファブの対応検討、費用計算、検討結果の報告など、【3 段階】変更可否の判断、発注者・設計監理者との協議、最終変更指示など、【4 段階】ファブの変更内容適用、生産計画調整、生産ラインへの指示などである。その結果を図 5-6 に整理して示す。

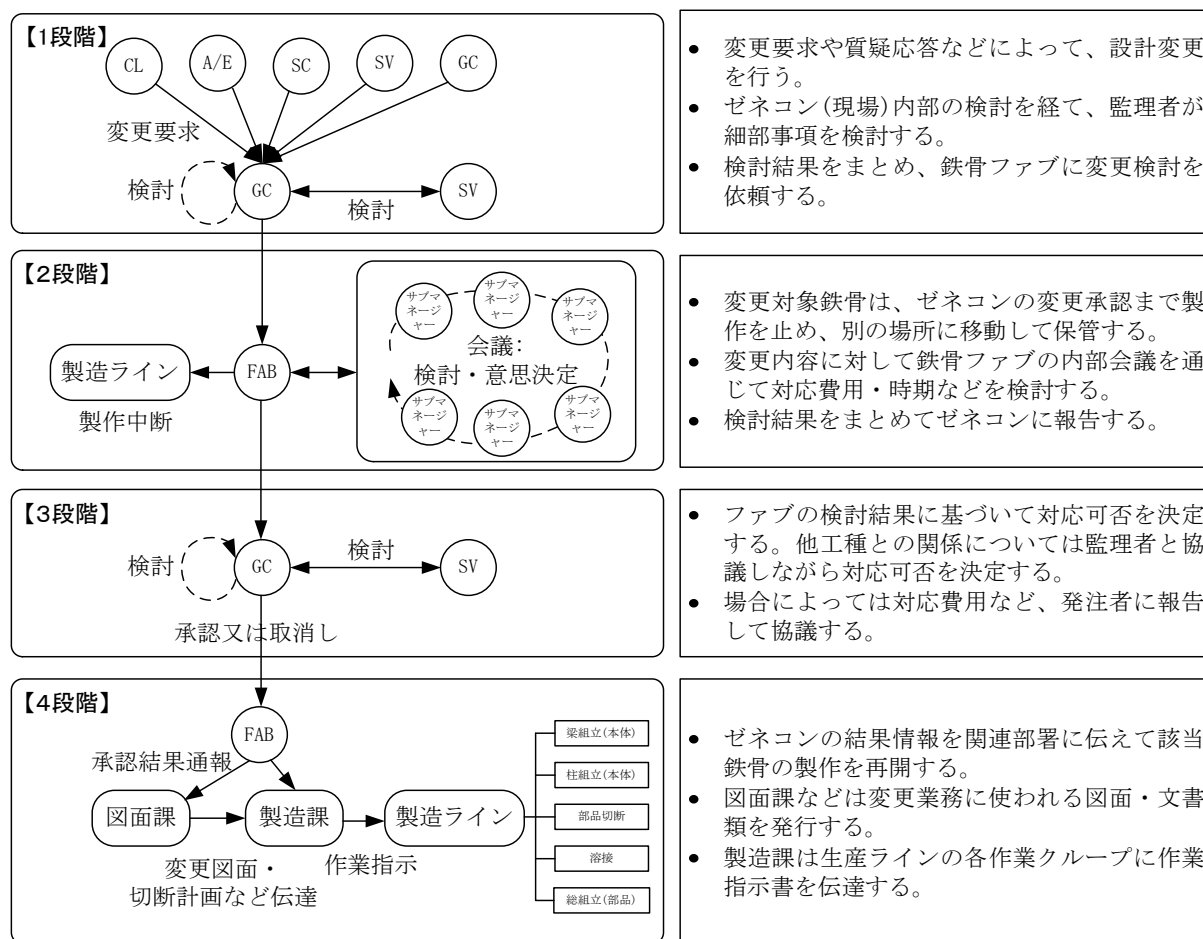


図 5-6 設計変更対応業務の全体像

(出所: 調査に基づいて筆者作成)

これは全般的な設計変更対応業務フローを要約したものであり、実プロジェクトでは各段階の業務内容や関係者、意思決定の基準などがプロジェクトごとに異なる。例えば、1 段階の業務について、事例 D では監理者が変更要求を受けて検討を開始し、ゼネコンと協議しながら変更範囲や内容を検討する。

なお、2 段階の業務について、調査した鉄骨ファブでは、関連部署のサブマネージャー会議で設計変更に対する検討・意思決定を行っているが、回覧方式を用いる企業も存在する。このようなプロジェクトごとの差異は当然のことであるが、事例調査の結果、変更対応業務に関する意思

決定の内容と判断基準は同様である。そこで、鉄骨生産における設計変更の関係者として、ゼネコン・監理者（現場組織）と鉄骨ファブ（鉄骨生産組織）に分けて、業務内容や意思決定に関する分析を行う。

5.3.1 現場組織の設計変更対応業務

【1 段階】現場での設計変更対応業務では、ゼネコンと監理者の役割分担が重要である。事例調査の結果、事例 D の場合、設計施工分離方式であるため、監理者が主導して設計変更を管理するが、事例 E の場合、設計施工一括方式であるためゼネコンが主導して設計変更を管理する。しかし、全体的には業務管理や調整などの管理業務はゼネコンが担当し、変更内容に関する図面検討は監理者に依存している。特に、構造と設備の取合い検討などの図面の適合性に関する検討は監理者の業務である。ゼネコンは工程・コスト・品質・安全など現場業務を考慮して変更を検討しているため、ゼネコンと監理者の効率的な役割分担と協力関係を構築することが変更対応業務を円滑に行うための重要な要素である。

【3 段階】一方、鉄骨ファブの検討結果に対する最終判断は、ゼネコンと監理者だけではなく、費用や変更内容によっては発注者も関与する場合がある。その判断基準は、コストと工期が主要要素であるが、その増減については、ゼネコンと鉄骨ファブとの事前合意が必要である。

表 5-2 鉄骨生産組織の意思決定【2 段階】

担当者 考慮事項	PP	FD	PD	CP	ET	QA	FC
プロジェクトスケジュール	○△	○△	○△	○△	○△	○△	○△
図面		△		△	○△	△	
材料		○△		○△	○△		
生産計画	○△	○△	○△	○△	○△	○△	
コスト		○△		○△	○△	○	
品質		○△	○△	○		○△	

※ ○：アンケート、△：観察・ヒアリング

※ 設計変更に対する意思決定者（鉄骨生産組織）

PP(Production planning；生産計画担当)、FD(Fabrication drawing；図面担当)、PD(Production control；生産管理担当)、CP(Cutting planning；切断計画担当)、ET(Estimation；見積担当)、QA(Quality assurance；品質検査担当)、FC(Foreign coordinator；文書管理及び調整)

（出所：調査に基づいて筆者作成）

5.3.2 鉄骨工場の設計変更対応業務

【2 段階】鉄骨ファブはゼネコンからの変更要求に対して、対応可能かどうかの判断、費用の計算などを行う。しかし、その業務を鉄骨ファブ内の一部署だけで行うことは不可能であり、鉄骨ファブの社内の各部署の担当者が協力して行わなければならない。その業務検討プロセスについては既に発表されており³⁾、ここでは意思決定を行う際に、各担当者の検討業務だけではなく、他の部署の業務との関連性について調査を行う。表 5-2 は筆者が設計変更に関する検討会議に参加し、担当者間の意見交換に関する観察(対話分析)、担当者とのヒアリング、アンケート調査をまとめたものである。

その結果、意思決定について各担当者は、認識して考慮する他の部署の業務（アンケート）、ならびに経験的に考慮する他の部署の業務がある。つまり、実際に意思決定に考慮している内容（観察・ヒアリング）とアンケート調査とは多少の差異があることがわかる。

【4 段階】製作中に発生する設計変更に対しては、最終変更可否が決まるまで鉄骨の製作を中断し、保管場所に移送することが一般的であり、生産日程も最長の遅延期間を想定して計画を調整する。なお、ゼネコンから最終指示がある時は、変更内容を反映した図面・作業指示書などを生産ラインの作業グループに配布する。

一般的な生産指示と変更対応業務に関する業務指示書は多少異なるが、内容はほぼ同様である(図 5-7)。また、変更作業については、生産性を考慮して、該当鉄骨の製作業務を担当した作業グループに再配布する場合が多い。

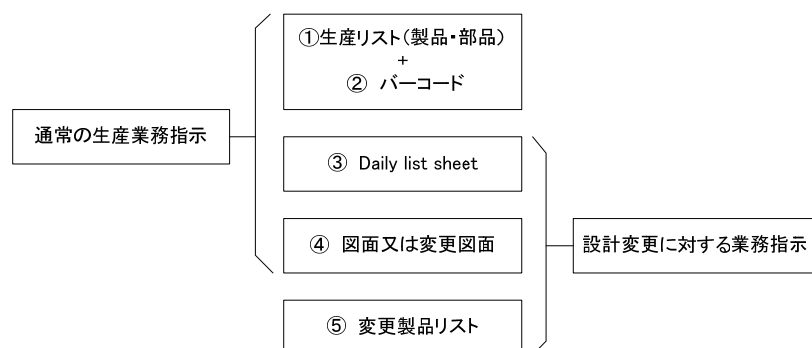


図 5-7 鉄骨生産ラインに伝達する設計変更指示

(出所：ヒアリングに基づいて筆者作成)

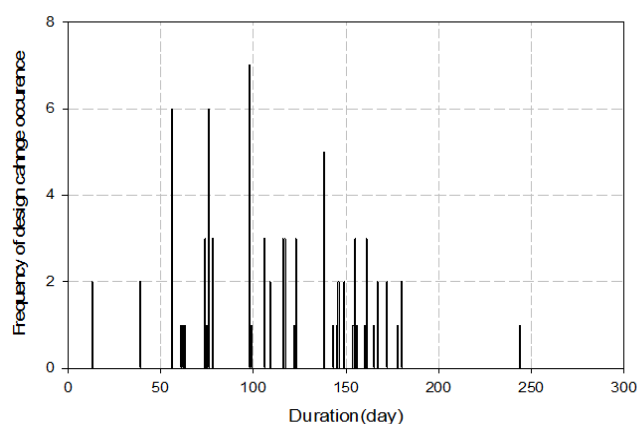
5.4 鉄骨工事における設計変更対応費用の分析

5.4.1 変更対応費用に関する事例分析

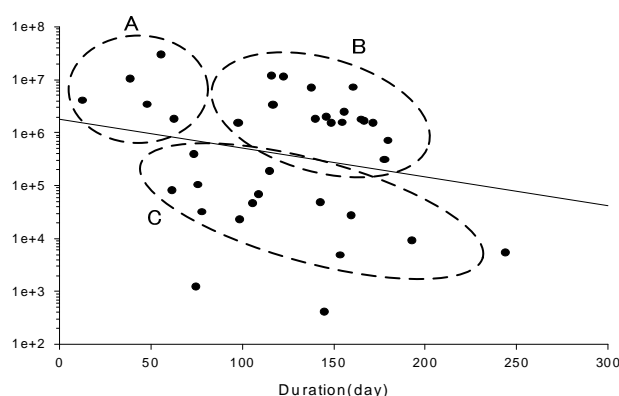
設計変更は鉄骨生産に関与する全ての関係者の負担となる。具体的には、コスト、工程、作業生産性などに関して影響を与える。しかし、その影響を正確に評価する方法は存在しない。そこで筆者らは対応業務に掛かる費用からその影響を間接的に評価することを考えた。前章で述べた

ように変更対応費用は鉄骨ファブの検討によって具体化されるものである。その対応費用に関する特徴を明確にするために、鉄骨ファブが設計変更要求を検討し、ゼネコンに提出した報告資料(事例 D のファブ 2)から取り上げた 91 件の変更件数と対応費用に関するデータを基に分析を行う。まず、鉄骨製作期間から設計変更の発生頻度(図 5-8 の(a))と対応費用(図 5-8 の(b))を分析する。特に、対応費用は、その変更内容や変更量などの特徴によって A、B、C の三つのグループに分類される。

A グループの設計変更では、発注者の要求や設計ミスなどを調整するための変更が多い。また、B グループの設計変更では、鉄骨工事と関連の他工事の仕様決定や取合い検討が遅れて、部品追加指示が遅延した結果、大量の変更に至ったものが多い。C グループの設計変更は、変更内容としては B グループと同様であるが、一件の変更において変更箇所が少ないケースである。このような対応費用の差異は、費用発生の仕組みが、変更時期によって対応業務内容が異なり、その内容によって費用が発生するためである。



(a) 設計変更の発生頻度



(b) 設計変更対応費用(片対数分散図)

図 5-8 事例 D の設計変更発生タイミングと費用の分析

(出所：筆者作成)

変更対応業務に掛かる費用は、大きく直接費と間接費に分けられ、直接費の項目はさらに作業内容項目と部品項目で構成される。費用を計算する際にはこの二つの項目を合わせて計算する。費用構成要素を整理して示したものが図 5-9 である。

図 5-9 では、設計変更対応業務を担当する各部署の担当者(表 5-2)が検討する要素について明確にしている。

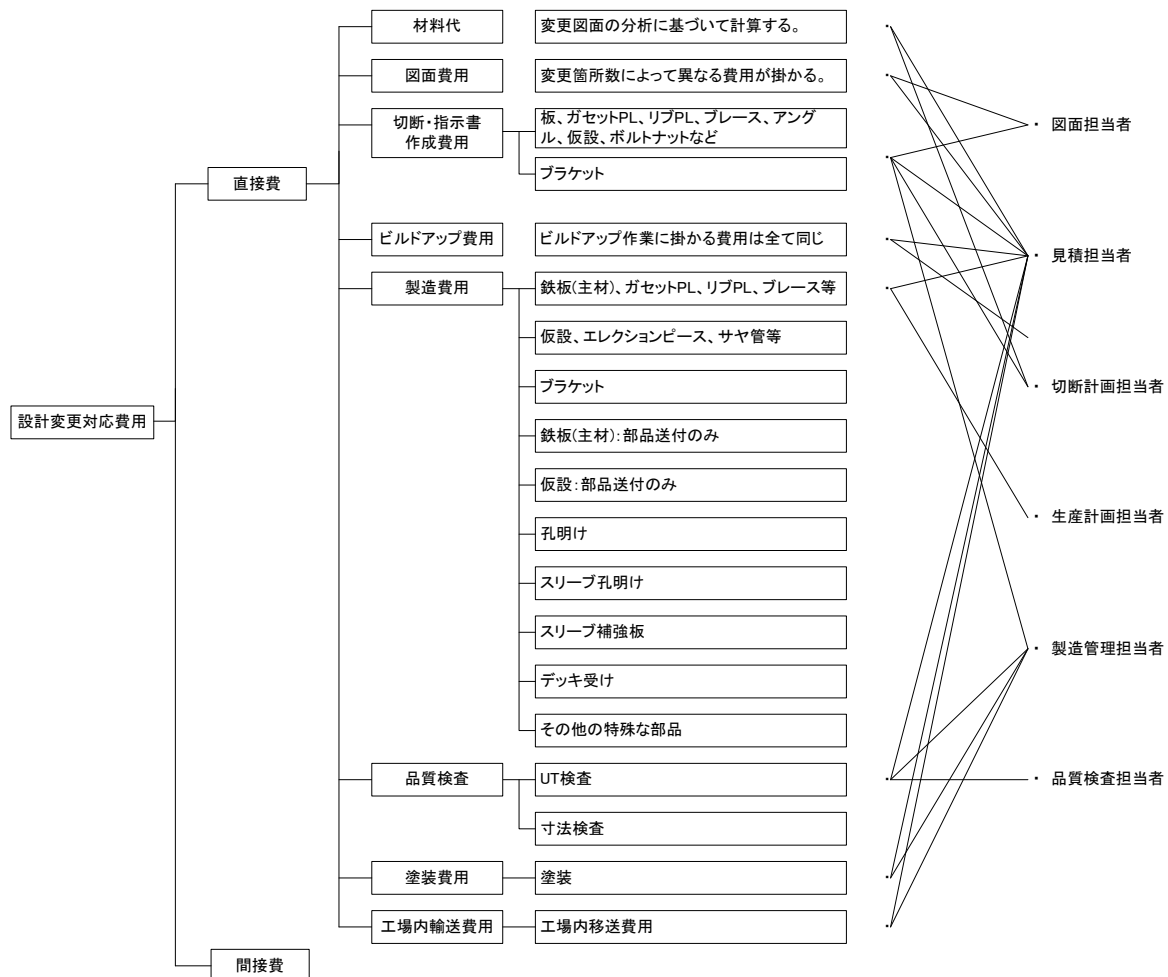


図 5-9 設計変更対応費用の検討構造(事例)

(出所：調査資料に基づいて筆者作成)

5.4.2 変更対応費用の推移分析^{注4)}

鉄骨工事の設計変更対応費用は変更タイミングが遅くなると費用が増加する。しかし、いつから何の費用が掛かるのか。さらに、費用だけではなく、様々な対応業務に応じて負担が発生するが、それらを直接的に測定することは不可能である。したがって、この章では、対応費用を中心に、どのタイミングから対応費用が上がるのかを明らかにし、変更タイミングの早晩による対応費用の多寡が認識できる方策の検討を行う。

(1) 設計変更対応費用の計算フロー

設計変更対応業務に掛かる費用は対応業務の内容とその処理時期によって異なる。例えば、一つの部品の寸法を変更する場合でも、製作開始の前に変更すれば図面の印刷費用以外は掛からないが、製作開始後には製造ラインの手作業に掛かる費用が追加される。

その業務に掛かる費用はある程度の意思決定の結果を反映して計算が可能となる。つまり、製造ラインの正確な製作状況と変更要求内容を考慮して判断した対応業務に基づいて、各業務に掛かる費用を計算する作業である。図 5-10 は鉄骨ファブが行っている設計変更対応費用の計算過程を表したものである。

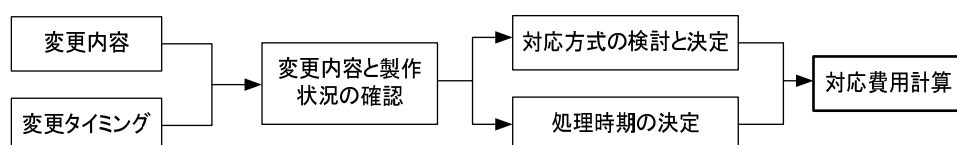


図 5-10 設計変更対応費用の計算フロー

(出所：筆者作成)

(2) 費用計算シナリオ

費用計算シミュレーションを行うために、鉄骨工事の事例 E から設計変更事例 2 件を取り上げ、設計変更を仮定して、想定シナリオを作成した。

図 5-11 は想定シナリオ作成の際に考慮した大梁と変更部位を表している。想定シナリオの内容は以下の通りである。

- ① シナリオ 1：大梁のフランジ断面寸法の変更を想定し、変更対応に掛かる費用を計算する。
- ② シナリオ 2：大梁に間柱を取り付けるブラケットの長さの変更を想定し、変更業務に掛かる費用を計算する。

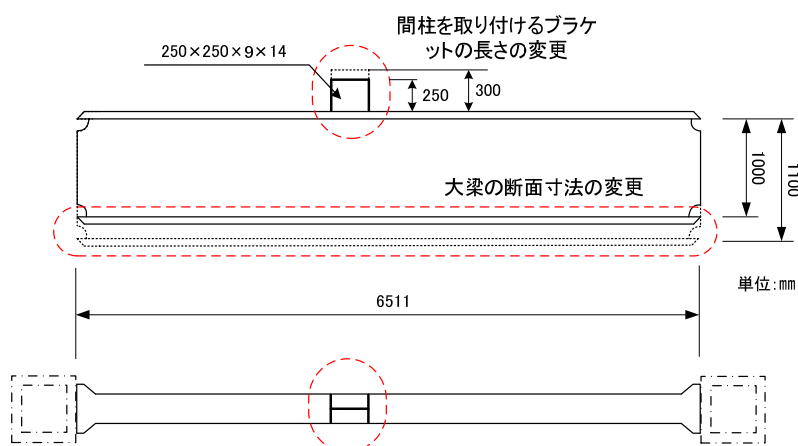


図 5-11 シナリオ 1 とシナリオ 2 の対象鉄骨大梁

(出所：事例に基づいて筆者作成)

（３）設計変更対応費用の計算方法

ここでは、想定シナリオを基に、設計変更対応業務に掛かる費用を計算し、変更対応の費用推移を分析する。実際に設計変更の対応費用は鉄骨ファブの対応業務に掛かる費用であり、製造ラインの鉄骨製作工程によって決められる。

具体的には、前節で述べた設計変更対応費用の検討構造（図 5-9）と鉄骨製作工程¹⁹⁾を活用して鉄骨ファブが行っている設計変更対応費用の計算方法を詳細化し、変更タイミングによる対応費用の計算シミュレーションを行う。対応費用の計算方法は、変更タイミングで発生する対応業務の内容を考慮し、各々の対応業務に掛かる費用を合算して計算する。例えば、大梁のフランジの寸法変更を想定したシナリオ 1 では、厚板切断後を変更タイミングとして計算すると、三つの費用の合計となる（図 5-12【例示 1】）。しかし、同等の内容で変更タイミングが溶接後になると製造ラインの手作業に掛かる費用が追加され、五つの費用の合計となる（図 5-13【例示 2】）。また、変更タイミングが遅くなると様々な費用が追加される。このような計算方法を使って費用計算シミュレーションを行う。その結果、特にシナリオ 1 では、大梁のフランジ寸法を変更する場合、切断の以後に変更すると、対応費用が上がる。一方、シナリオ 2 では、ブラケットの長さを総組立や溶接作業後に変更した場合には費用が上がる。

このようなシミュレーション結果によると、主要部材（構造体）に関する変更では、寸法・厚さ・鋼種に関する変更は製作開始前までに、それ以外の変更は総組立の前までに行うことによって図面変更のみで対応できる。主要部材の変更は材料費や製作費が高いため注意を要する。なお、付帯施設に関する変更では、総組立までは図面変更費用のみが掛かるが、総組立後からは対応費用が上がる。材料費より製作作業に掛かる費用が大部分を占める。

以上の分析より、変更タイミングと対応費用の関係が明確になった。図 5-14 は各作業や部品で対応費用が掛かる工程を整理したものである。また、変更対応の費用推移に関するシミュレーション結果を図 5-15 に示す。ただ、プロジェクトや企業によって変更対応費用の単価は異なるため、計算に注意を要する。

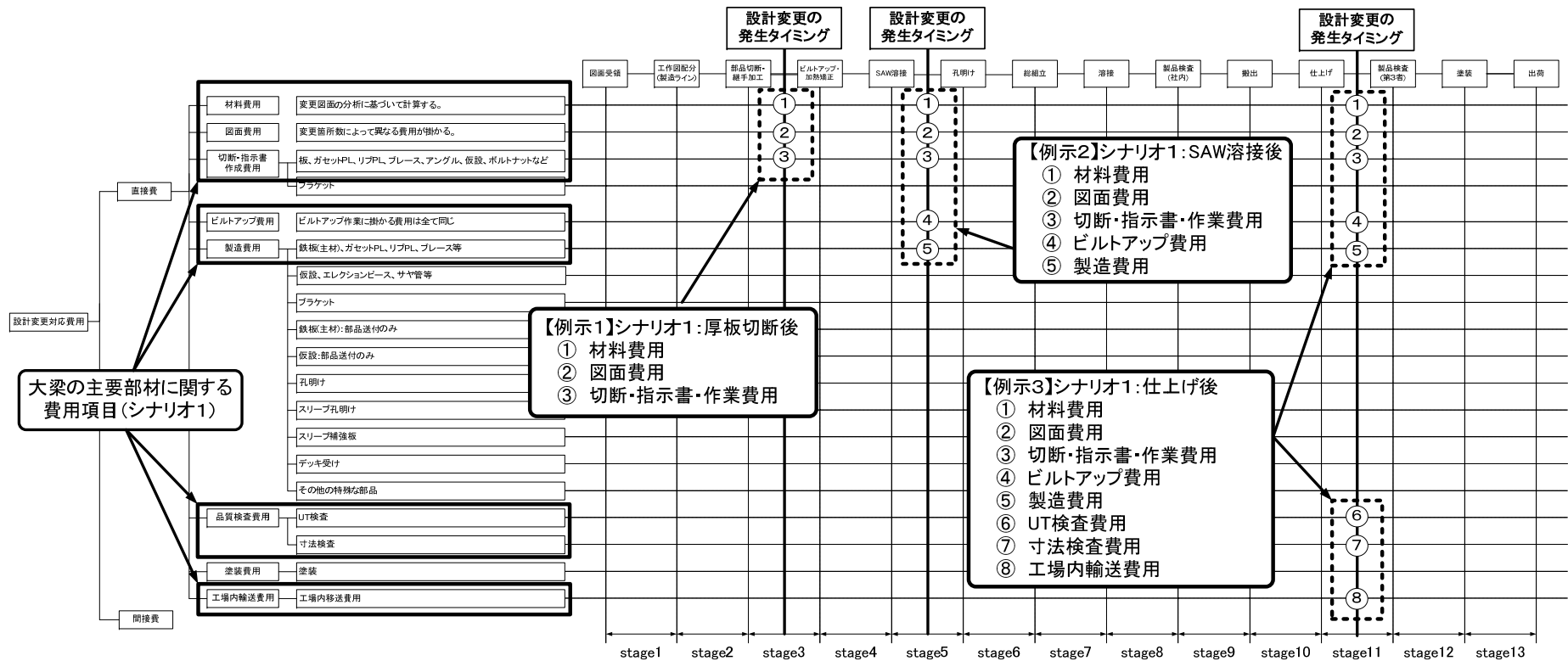


図 5-12 シナリオ 1 に対する変更対応費用の計算例

(出所：筆者作成)

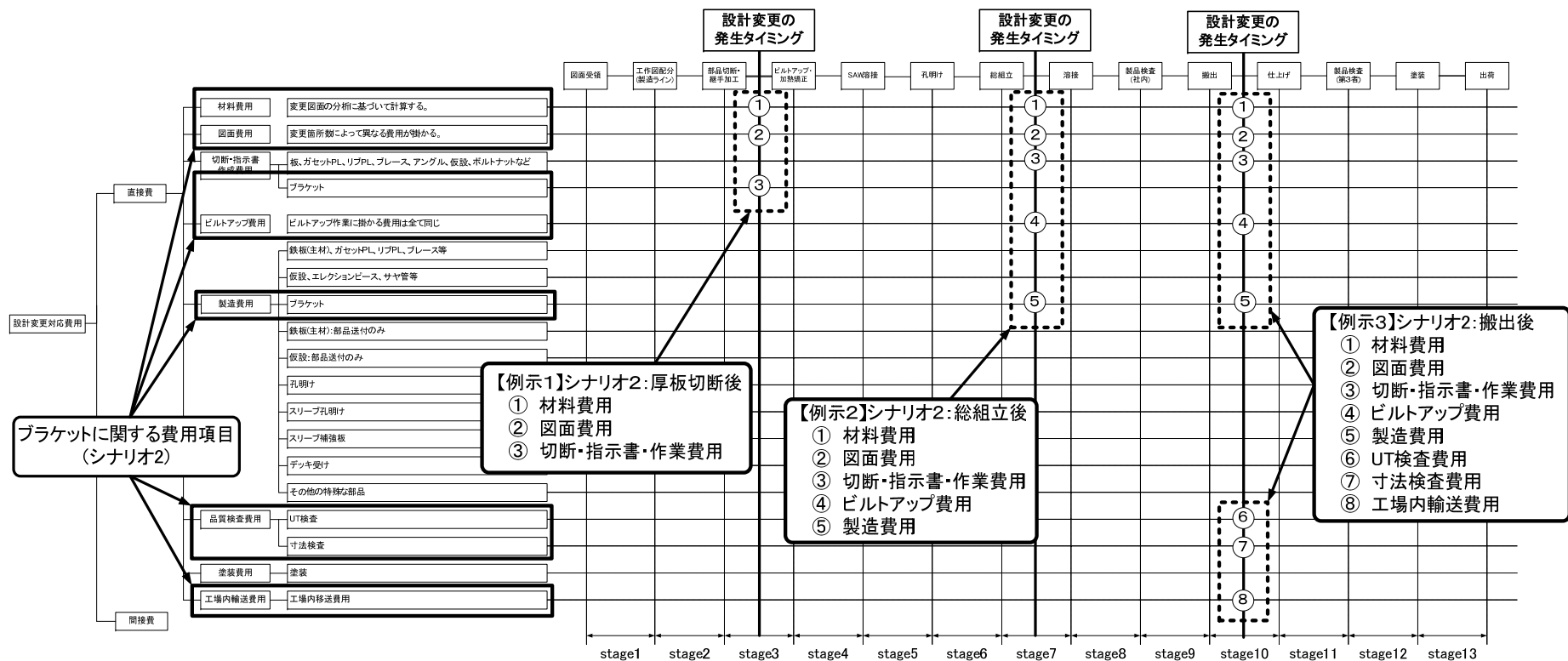


図 5-13 シナリオ 2 に対する変更対応費用の計算例

(出所：筆者作成)

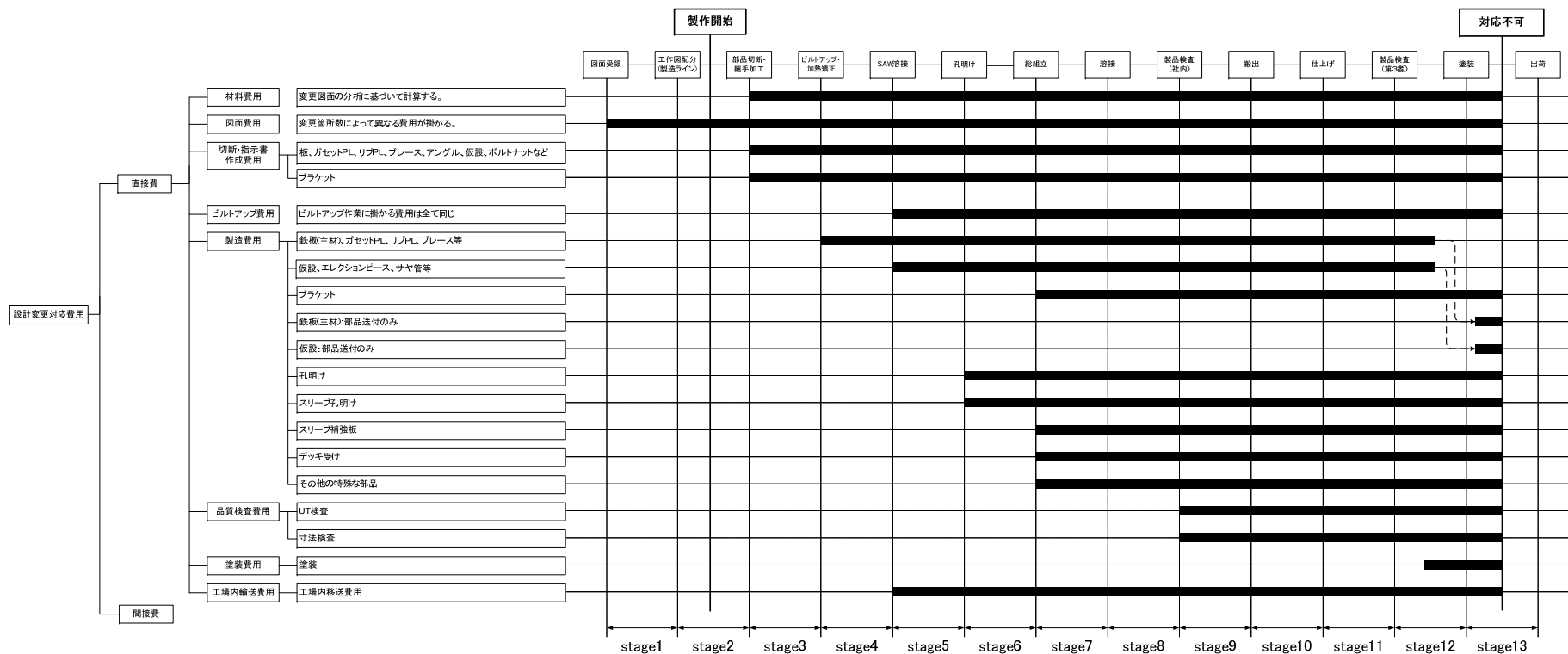


図 5-14 設計変更対応費用における変更タイミングと鉄骨製作工程との関係（設計変更による鉄骨製作費用の発生構造）

（出所：筆者作成）

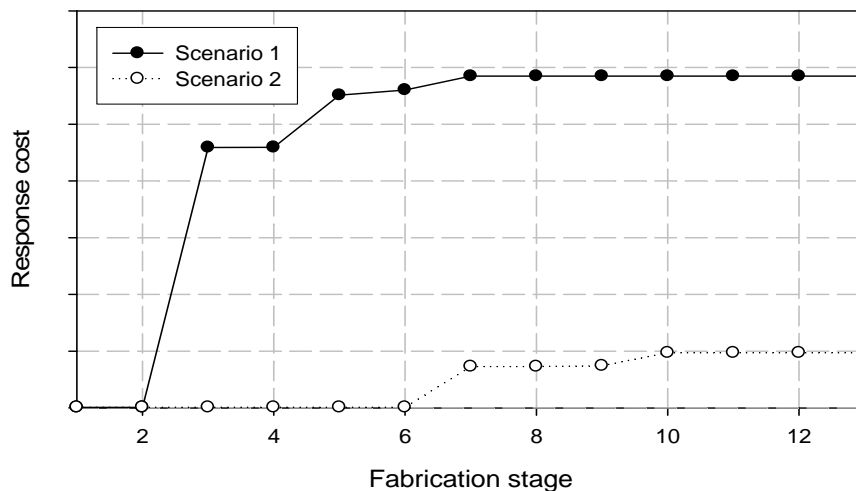


図 5-15 対応費用シミュレーションの結果

(出所：筆者作成)

5.5 小結

本研究では、鉄骨工事における設計変更対応業務の実態を明らかにするために、設計施工一括と分離の 2 つのプロジェクト事例に基づいて、設計変更の要求から最終処理までの各段階の業務・情報や意思伝達の過程を一連の流れとして分析した。また、設計変更対応に掛かる費用を計算するため、鉄骨ファブの業務をモデル化し、事例から設計変更の想定シナリオを作成してシミュレーションを行った。

鉄骨工事における設計変更対応業務はゼネコン・監理者・鉄骨ファブの 3 社が協力して対応しており、その業務形態は相互依存性が高い仕組みになっている。しかし、これは材料発注から図面作成や鉄骨製作までの鉄骨生産の全体業務を一貫した鉄骨ファブとゼネコンの間の設計変更対応業務を分析した結果である。そこで、製作図や材料発注を別に行った鉄骨ファブとゼネコンの間の設計変更対応業務は、本章で分析した鉄骨ファブの各部署が行う意思決定内容を各企業が行い、その調整業務が重要である。

一方、事例 D と E の変更内容では、主要部材の変更より小部品の変更が多い。これは他の工事からの付帯施設に関する部品の仕様決定が遅れて大量に変更が発生したためである。また、対応費用の計算結果からみると主要部材の場合、厚板切断または総組立作業の以後に変更すると費用が増加し、小部材は総組立や溶接以後に変更をすると費用が増加する。また、設計施工一括(事例 E)の方が設計変更分離(事例 D)より設計変更発生件数が少ない。

今後は、本章で扱った設計変更対応業務の全体像に基づき、設計変更データを活用して業務のボトルネックを分析する。また、設計変更が少ない鉄骨生産体制を検討、生産設計段階で付帯施設の仕様決定を早期化する方法を研究する。

注

- 注 1) CII(Construction Industry Institute)とは、アメリカの Texas 大学にある研究所であり、建設産業の様々な問題について企業や大学の研究者が集まり、研究が行われている。
- 注 2) VE(Value Engineering)とは、いわゆる価値工学であり、プロジェクトの価値を高めるための検討や改善業務のことである。一般に、設計段階の VE と施工段階の VE に分けられるが、本章での VE は「生産設計を行うことで図面の不具合や品質に関わる問題を検討して建物の全体的な品質を高める」という古阪による定義を用いる。
- 注 3) 連携分析(Related analysis)とは、生産システムや医療などの分野で問題の原因を把握するために、よく使われる分析方法であり、特に生産システムの分析については、全ての業務過程を連携して検討を行う。
- 注 4) 推移分析(Transition analysis)とは、一般的に既往データに基づいた変化分析を通じて未来を予測する方法である。特に、経済分野では、コストの収益性の評価や株価分析などに使われる。

参考文献

- 1) 蟹澤宏剛他：鉄骨製作段階における生産設計の実態、日本建築学会、第 10 回建築生産と管理技術シンポジウム、pp207-212、1994. 7
- 2) 蟹澤宏剛他：鉄骨ファブリーケーターの業務からみた生産設計の実態、日本建築学会、第 11 回建築生産と管理技術シンポジウム、pp111-118、1995. 7
- 3) 金貞坤他：設計変更に対する鉄骨ファブリーケーターの意思決定の仕組み、日本建築学会計画系論文集、第 77 巻、第 681 号、pp2611-2618、2012. 11
- 4) CII(Construction Industry Institute) の 研 究 チ ー ム リ ス ト : <<https://www.construction-institute.org/research/res-teams.cfm?section=res>>, (2012 年 5 月 1 日検索)
- 5) William Ibbs: Quantitative Impacts of Project Change: Size Issue, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 123. No. 3, pp308-311, 1997. 9
- 6) William Ibbs, et.al: Project Change Management System, Journal of Management in Engineering, Vol. 17. No. 3, pp159-165, 2001. 10
- 7) William Ibbs, et.al: Project Delivery Systems and Project Change: Quantitative Analysis, Journal of Management in Engineering, Vol. 29, No. 4, pp382-387, 2003. 8
- 8) William Ibbs: Impact of Change's Timing on Labor Productivity, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 131. No. 11, pp1219-1223, 2005. 11
- 9) William Ibbs, et.al: Quantified Impacts of Project Change, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 133. No. 1, pp45-52, 2007. 1

- 10) Awad S. Hanna, et.al: Quantitative Definition of Projects Impacted by Change orders, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128. No. 1, pp57-64, 2002.2
- 11) Awad S. Hanna, et.al: Statistical-Fuzzy Approach to Quantity Cumulative Impact of Change orders, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 16. No. 4, pp252-258, 2002.10
- 12) Awad S. Hanna, et.al: Risk Allocation by Law - Cumulative Impact of Change Orders, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 133. No. 1, pp60-66, 2007.1
- 13) Awad S. Hanna, et.al: Impact of Change Orders on Small Labor-Intensive Projects, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 130. No. 5, pp726-733, 2004.10
- 14) 古阪秀三他：集合住宅設計における生産設計方法論の確立(1)；生産設計の概念と設計変更調査、日本建築学会近畿支部研究報告集、計画系(30)、pp805-808、1990.5
- 15) 古阪秀三他：建築における生産設計の検討(2)；設計変更調査、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp829-830、1991.9
- 16) 峰政克義他：建築プロジェクトにおける生産情報の確定過程、日本建築学会計画系論文集、第502号、pp187-194、1997.12
- 17) 峰政克義他：建築プロジェクトにおける生産情報の共有と整合のしくみ、日本建築学会計画系論文集、第504号、pp179-186、1998.2
- 18) 勝山典一他：建築生産情報の確定過程に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第548号、pp223-230、2001.10
- 19) 金貞坤他：鉄骨工事における設計変更の発生原因と鉄骨ファブの対応策、日本建築学会、第27回建築生産シンポジウム論文集、2011.7
- 20) 国土交通省建築研究所：「建設事業の品質管理体系に関する技術開発」報告書、建築分野編：第3章鉄骨造建築物の品質管理、2001.3

第6章 鉄骨工事における合理的な設計変更対応業務に関する考察

6.1 はじめに

本章では、第2章から第5章までの分析結果を踏まえて合理的な設計変更の対応策を考察する。具体的には、設計変更対応業務で重要な役割を担うゼネコン、監理者、鉄骨ファブを現場組織と工場組織に分けて現実に可能な対策を検討する。

鉄骨ファブについては、意思決定の正確性と迅速化を図るための検討を行い、現場組織については、図面の作成と検討、鉄骨生産日程などのゼネコンと監理者の業務に関する改善課題を考察する。

(1) 研究の背景

この研究は以下の二つのことに着目した。一つ目は、ゼネコンの設計変更要求に対する対応業務の迅速化を図ること、二つ目は、鉄骨生産における供給管理システム(SCM:Supply Chain Management)を完成するために、全ての鉄骨生産段階の業務を統合する生産管理システムの開発に関する検討を行うことである。特に、設計変更にどのように対応するかが主な課題である。

前章で述べたように、通常の設計変更対応の過程には、ゼネコン、監理者、サブコンなどが関与し、ゼネコンが鉄骨ファブに指示する前に変更指示内容の整理、変更範囲の評価などが行われる。そこで実質的な設計変更の対応可否や対応に掛かる費用計算などは鉄骨ファブが担当する。さらに鉄骨ファブの対応業務は非常に複雑で長い過程であり、その意思決定には鉄骨製品に関する正確で詳細な情報が必要である(金、2012a)¹⁾。

第3章の設計変更の発生タイミングと影響に関する分析を通じて、鉄骨製作の途中に数多くの小さな変更指示がゼネコンから鉄骨ファブに指示されることが把握された。理論的に、各鉄骨製品の詳細な製作仕様は生産設計段階で決められるが、筆者の調査では、多くのプロジェクトで40%以上が鉄骨製作段階で変更されている。鉄骨製作開始後の設計変更指示はコスト増加や工期遅延などを誘発する可能性が高い潜在的なリスクとして認識されている。

鉄骨生産ラインの生産情報は変更対応に関する意思決定に重要であるため、変更の影響を最小化する一つの方法として、正確に生産過程をモニタリングし、適切な意思決定を支援する鉄骨生産プロジェクトにおける統合モニタリングシステムを開発する必要がある。従って、本章は、鉄骨生産の設計変更に対して適切な意思決定に必要な情報の詳細度や時間的面を考慮して鉄骨生産情報のモニタリングシステムの開発に関する問題を扱う。

(2) 研究の目的

本章では、鉄骨工事の設計変更に対してゼネコン・監理者・鉄骨ファブの対応業務を改善する具体的な方法を考察することを目指し、具体的には以下の二つを目的とする。

- ① 鉄骨工事の設計変更に対して鉄骨ファブの合理的な意思決定や対応業務が可能な具体的な方法を検討する。
- ② 鉄骨図面の作成と検討過程を効率化するための改善課題を検討する。

（３）研究の方法

本章では、設計変更対応業務で重要な役割を担うゼネコン、監理者、鉄骨ファブを現場組織と工場組織に分けて現実に可能な対策を検討するために、先ずゼネコンからの変更要求に対する鉄骨ファブにおける意思決定の過程とその意思決定に関わる情報を詳細に分析し、鉄骨製造ラインに運用されている情報システムに基づいて生産状況データの自動的な入手方法を検討する。また、現場組織については、図面の作成と検討、鉄骨生産日程などのゼネコンと監理者の業務に関する改善課題を考察する。一方、現場組織については、図面の作成と検討、鉄骨生産日程などのゼネコンと監理者の業務に関する改善課題を考察する。

（４）既往研究(情報活用)

過去十数年の間、多くの研究者が建設産業におけるデータ入手方法に関する研究を行ってきた。その研究では、バーコード、RFID タグの情報技術に基づいて行われている(Chen²⁾, 2002; Chae³⁾, 2005; Song⁴⁾, 2006; Ikeda⁵⁾, 2006; Wang⁶⁾, 2007; Ergen⁷⁾, 2007; Yosida⁸⁾, 2008; Kim⁹⁾, 2012b; Costin¹⁰⁾, 2012)。また、プロジェクトの推進状況を正確に測定するために、BIM(Building information model)や VR(virtual reality)などを活用して可視化する研究がある(Zhang¹¹⁾, 2008; Rebolj¹²⁾, 2008; Son¹³⁾, 2010; El-Omari, 2008¹⁴⁾; 2011¹⁵⁾; Azimi¹⁶⁾, 2011; Gong¹⁷⁾, 2011, Cheng¹⁸⁾, 2012)。

Navon¹⁹⁾ (2002)は“プロジェクトの計画と実際の推進状況の差異を認識すること”としてのプロジェクトの推進状況モニタリングの概念を定義した。また、重要な価値指標として、コスト、スケジュール、生産性、投入要素などを強調した(Navon, 2007) ²⁰⁾。研究結果をデータ品質の観点から見るとモニタリングしたデータとモニタリングするタイミングによって、データの正確性が異なり、全ての要素がデータの質を決める重要な要因になっている。しかし、変更対応を考慮して推進状況のモニタリングを扱った研究は少ない。従って、本章では、推進状況のモニタリングに関する工場内の制約や鉄骨生産における変更対応業務を扱う。

6.2 設計変更の要求過程

設計変更の発生タイミングは予測できないものである。しかし、効率的な設計変更対応業務を検討するためには、その発生パターンを把握しなければならない。従って、筆者は事前調査によって設計変更の発生パターンを分析した。具体的には、5つの鉄骨生産プロジェクトから約 500 件の設計変更案件を取上げて分析を行った。その結果、鉄骨工事における全ての設計変更の中で設計者やエンジニアが決めた仕様を着工後に変更する場合は約 3-5%を占めている。しかし、鉄骨生産の途中に発生する大部分の設計変更は、仮設工事、設備工事、仕上げ工事などに関係する小さな変更、例えば、鉄板を追加、移動、変更、取消しするなどの変更であった。すなわち、このような小さな部品の変更のモニタリングと調整が重要である。通常の変更要求は、図 6-1 に示したような変更部位をマーキングした図面がゼネコンから鉄骨ファブに伝達される。さらに詳細な内容を説明するための手書きも含まれる。

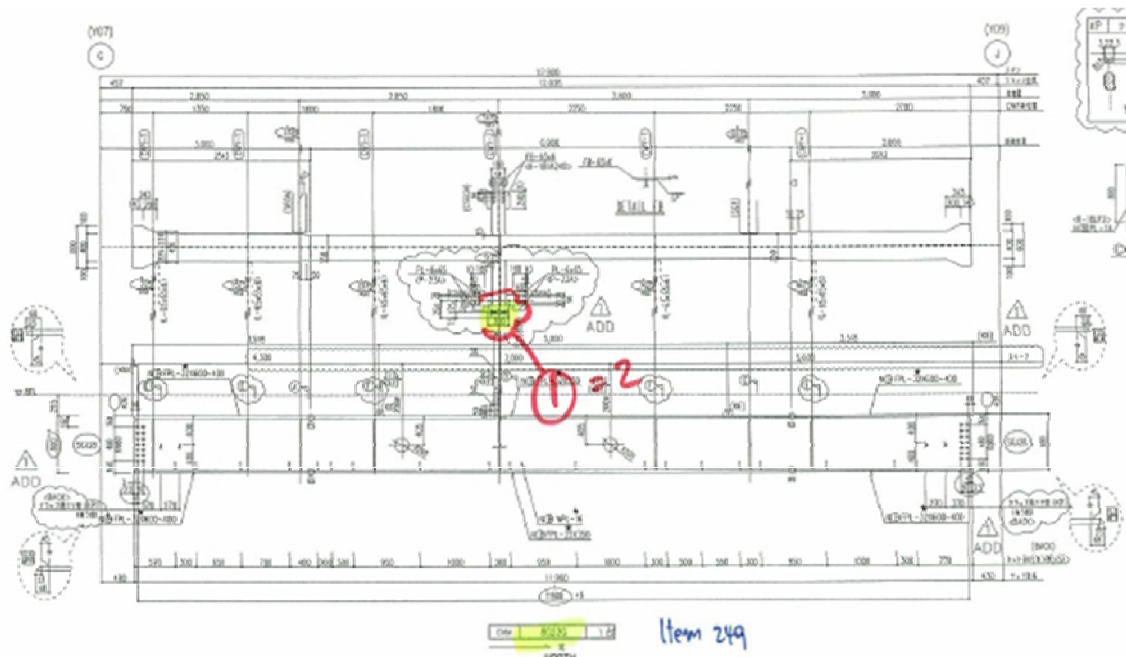


図 6-1 変更部位をマーキングした変更図面の事例

(出所：M 社の提供資料)

6.3 変更対応業務に参考として使われる情報

鉄骨ファブ(M 社)の場合、変更対応に関する意思決定の過程を自ら継続的に改善し、正確な提案検討を図るために会議体を導入している。図 6-2 は、M 社の意思決定の過程に関する全体像の分析結果を示したものである。M 社は DCL (Design change list:M 社の ISO 9001 標準文書) という文書を使って変更指示や意思決定の記録を管理している。変更対応業務は、主に 6 つの部署のサブマネージャー(生産管理(PM)、図面作成(FD)、切断計画(CP)、生産計画(PP)、品質管理(QA)、見積(CE))が担当しており、彼らは、変更対応に関する意思決定を行うために、毎日会議(サブマネージャー会議)を行っている。

表 6-1 は、DCL に追加される文書を分析した結果をまとめたものである。包括的な結果を提供するために、生産状況情報は各部署の社員が細部を確認し、サブマネージャー会議の前に PM が全体を確認する。

この調査を通じていくつかの情報活用に関する問題が明確になった。一つ目は、日常的に PM はシステムを使って工場内の生産状況を確認するが、場合によっては、各作業グループの作業員を通じて確認している(図 6-2)。すなわち、入力される情報がリアルタイム情報ではないため、サブマネージャーは意思決定に遅延した情報を使っていることになる。二つ目は、各作業グループは自らの作業情報や入力情報をチェックし、各作業が終わった後でデータベースに入力している。つまり、意思決定に使われる情報は、システムに入力されている情報がリアルタイム情報ではないため、ある程度、遅延した情報を活用していることになる。

各意思決定に参考とする文書や情報を整理し表 6-1 に示す。表中のデータシートとは変更部品と鉄骨のリストである。

表 6-1 設計変更の意思決定に参照する情報(M 社事例)

番号	情報/添付文書	データタイプ	モニタリング情報 (生産ライン)
<i>a, b</i>	変更指示および変更図面 (変更部位マーキング)	文書又はメール CAD データ又は PDF	無し
<i>c</i>	DCL (Design change list)と変更 図面	文書 文書	無し
<i>d, e</i>	DCL + 変更図面 データシート追加	文書 文書	無し
<i>f, g</i>	DCL + 変更図面 + データシート	文書	工場内の各作業グループ 長が入力したデータに基 づいて変更製品に関する 生産状況をモニタリング する。
<i>h, i, j</i>	DCL + 変更図面 + データシート	文書	無し
<i>k, l</i>	DCL + 変更図面 + データシート	文書	工場内の各作業グループ 長が入力したデータに基 づいて変更製品に関する 生産状況をモニタリング する。
<i>m, n, o</i>	DCL + 変更図面 + データシート 費用計算シート追加	文書	無し
<i>p</i>	DCL + 変更図面 + データシート + 費用計算シート	文書	無し
<i>q, r</i>	要約シート追加	PDF	無し

(出所：調査に基づいて筆者作成)

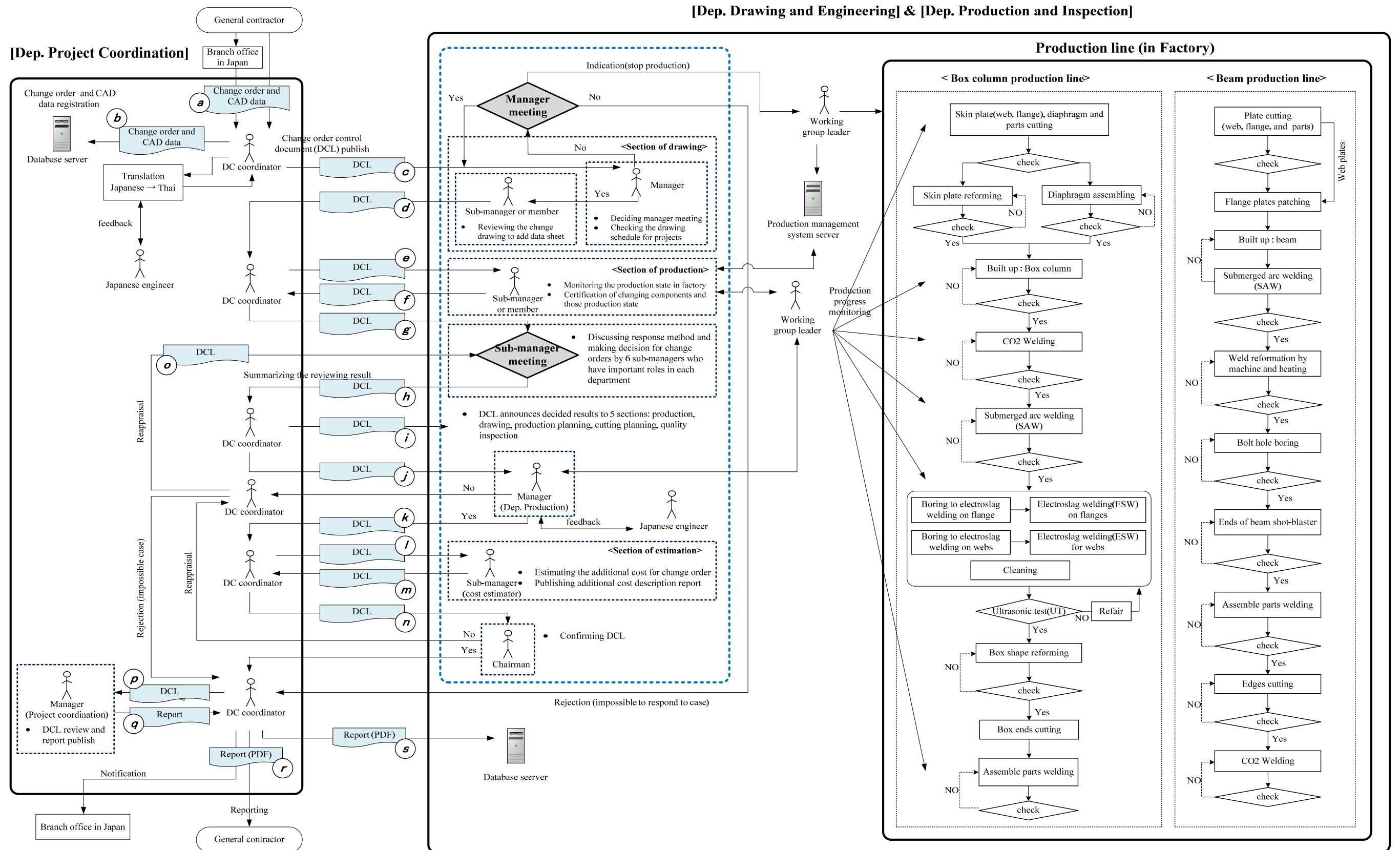


図 6-2 設計変更に対する鉄骨ファブの意思決定の過程と生産情報のモニタリング

(出所：調査に基づいて筆者作成)

6.4 鉄骨生産状況のモニタリング

前節では、事例分析を通じて意思決定のプロセスと参考情報について述べた。本節では、鉄骨生産状況をモニタリングするための自動的なデータ収集手法で可能な方法を検討する。

最近の技術的な発展にもかかわらず、鉄骨生産における全ての過程をモニタリングすることは難しいことであり、さらに、本研究で開発を検討しているシステムは、複雑な作業環境から正確なデータを捉えることが要求される。そのため、モニタリングする認識単位間の関係を明確に定義する必要がある。鉄骨の場合、図 6-3 のように認識単位の位相関係に分類される。また、仕事もモニタリングする情報としてレベル 5 に揃えることも考慮できる。

大半の既往研究では、システムの管理単位として鉄骨製品(レベル 3)を扱っている。しかし、本章では、より詳細な管理単位として、部品、作業者、機械、作業のような認識単位を考慮する。従って、鉄骨生産ラインの業務調整や変更対応に関する意思決定のための正確なプロジェクトの推進状況の測定を図るために、さらに詳細な認識単位(レベル 3、4、5)をモニタリングしなければならない。そこで、システムの改善計画として、鉄骨部品(レベル 4)と作業過程(レベル 5)をモニタリングする手法を考察する。

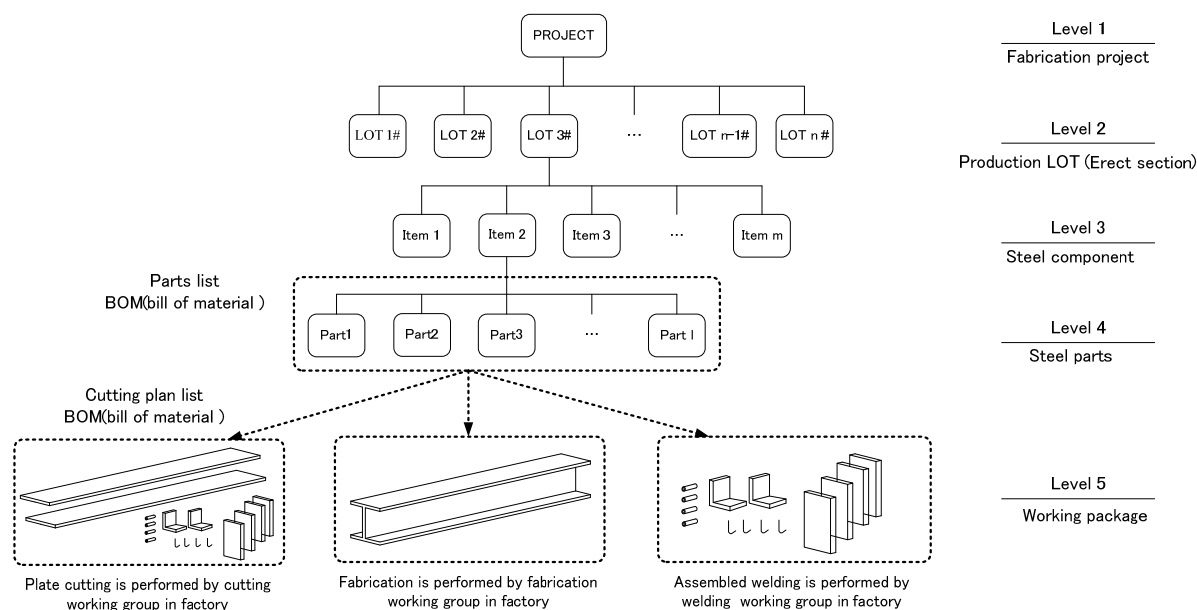


図 6-3 ビルドアップ鉄骨における認識単位の位相関係およびモニタリングの概念

(出所：筆者作成)

6.4.1 部品のモニタリング

正確性の観点で、直接に鉄骨部品をモニタリングすることはプロジェクトの進捗状況を評価する有効な方法である。しかし、入力時間とデータ量が増加するため全ての小さな部品までモニタリングと調整をすることは困難である。そこで、認識道具（バーコードと RFID）を活用するこ

とは、生産ラインからデータを自動的に収集する方法として有効な方策となる。

中島(2009)は、鉄骨工事における品質データの収集を支援するための RFID の活用モデルを研究し、鉄骨工事と鉄骨製作の統合するためには、鉄骨製作工場まで活用範囲を拡張することの必要性を強調した。しかし、実際には、図 6-4(d)に示したように、溶接熱によって紙資料が毀損するため工場内に RFID 活用範囲を拡張することは困難であることが証明された。従って、バーコードや RFID などの認識方法は、溶接作業に対するデータ収集においては適切な方法ではない。溶接は金属部品を接合する様々な長所がある。溶接温度は溶接部位の品質と関係ある重要な要素であるため、認識道具は、ボックス柱の場合は組立溶接後、大梁の場合はショットブラスト後に添付することが可能である。

そこで、溶接作業に対する他のモニタリング方法が必要である。PDA (Personal digital assistant) 又は Tablet PC の活用は、生産過程をモニタリングする対案として検討される。各作業グループ長は、BOM(Bill of Material)データテーブルにチェックして終了情報を入力することが可能である(木本²¹⁾, 2005; 吉田⁸⁾, 2008)。しかし、池田⁵⁾ (2006)は、入力データの詳細性に関する問題を指摘した。ある入力データが過度に詳述されている場合、入力システムの自動化の効果が減少される。

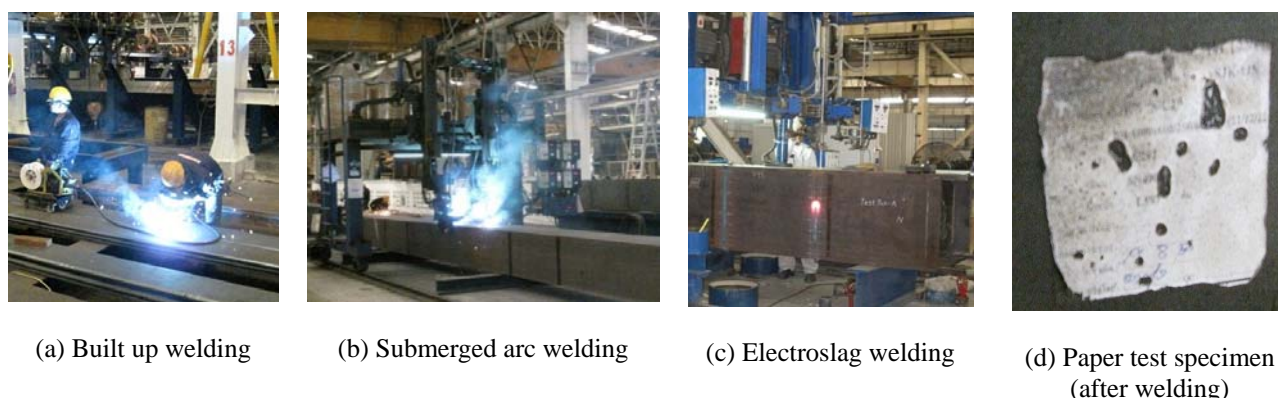


図 6-4 製造ラインの溶接作業(ボックス柱)

(出所：M 社提供)

6.4.2 生産状況のモニタリング

資材として鉄骨製品は、認識タグ(バーコードや RFID)を添付してモニタリングすることができる明確な認識単位である。一方、生産状況のモニタリングも鉄骨製作に関するプロジェクトの進捗状況を確認できる有効な方法である。

鉄骨製作の進行状況を測定するための認識単位はデータの入手又は入力単位として、作業期間又は作業単位によって定義される。一つの測定方法として、工場内の作業グループの仕事の状況をモニタリングする方法がある。一般に、鉄骨製作は専門的な複数の作業人や作業グループで組立や溶接などの作業を分担して行われる。調査した M 社の場合、工場内の生産組織は、主に三つの作業グループ(切断・組立・溶接)で構成されている(図 6-3、レベル 5)。

従って、本章では、鉄骨生産に関する分析結果(図 6-2)により生産状況をモニタリングすべき

時期を提示する。図 6-5 のうち、右はボックス柱、左は大梁に関する生産状況のモニタリング時期を示したものである。なお、PDA を用いたモニタリングシステムを運用する場合、入力時間を短縮するために、各作業グループ長が業務をチェックやシステムにログインする時期などを標準化する必要がある。

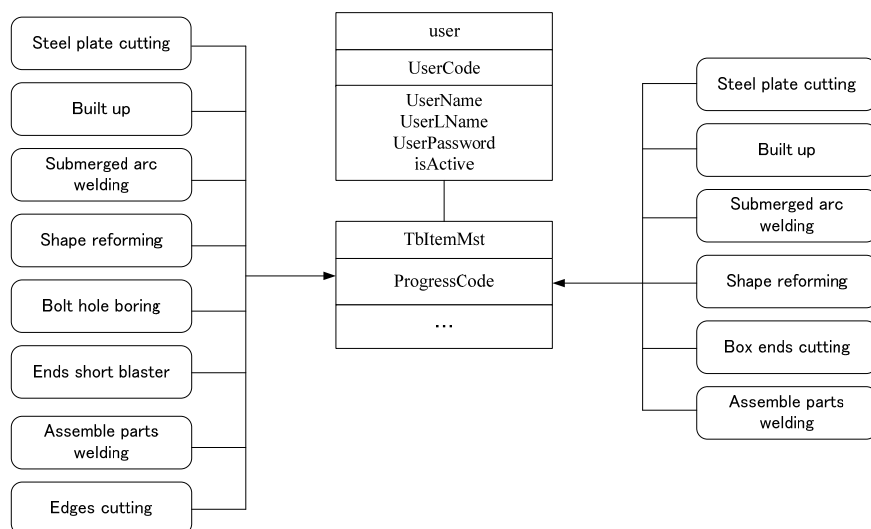


図 6-5 生産状況のモニタリング時期

(出所：筆者作成)

生産状況のモニタリング情報は生産計画を検討又は修正する際にも使われる。鉄骨生産プロジェクトの生産計画に関する既往研究では、シミュレーションを用いたシステムの開発に関する研究がある (Karumanasseri²²⁾, 2002; Song²³⁾, 2006)。しかし、彼らの研究には大きな問題点がある。すなわち、システムの活用面で見ると直接に変更部品や製品を検索し、生産計画を調整することは不可能である。従って、本章の改善課題である意思決定の過程と生産状況のモニタリングシステムを統合するモデルを開発する必要がある (図 6-6)。

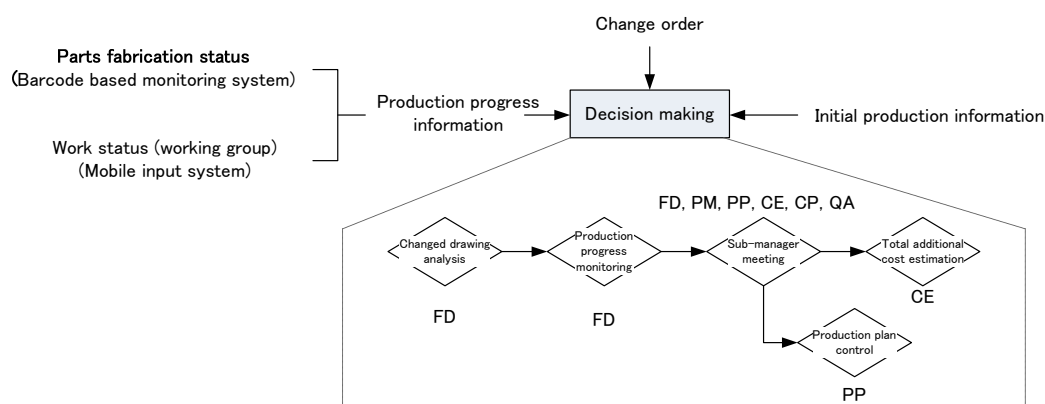


図 6-6 変更に対する意思決定支援モデル

(出所：筆者作成)

6.5 開発事例：バーコード基盤の鉄骨生産管理システム

まず、生産状況のモニタリングシステムを開発するための改善課題を明らかにする。その過程では、意思決定に関する事例分析や部分的に開発された鉄骨生産状況のモニタリングシステムを含んだバーコードを用いた生産管理システムの開発事例を紹介する。

M 社はすでに鋼材と鉄骨製品の保管位置と輸送管理などの業務を管理するための情報システムを開発し、鉄骨生産管理業務の一部に活用してきた（図 6-7、6-8）。しかし、管理業務を部分的に支援するために開発された情報システムは、特定業務の担当者のみが活用し、システムは完全に独立的に運用されている。従って、既存システムを統合し、工場内から生産状況をモニタリングする新たな手法を検討する。具体的には、前節で述べたような技術的な問題点を考慮して既存の情報システムを統合する検討を行った。細部の検討の前に、バーコード、RFID タグやセンサ技術などの認識技術に関する調査をした。その結果、他の認識技術よりバーコード技術が一般的に使われており、相対的に経済的で、システム開発も簡単であるものと確認された。

既存システムの統合においては、鉄骨ファブやゼネコンに生産情報を提供することを目的として WEB 基盤の情報管理システム（図 6-7）が開発されている。また、図 6-8 はシステムのデータベースの全体構成図である。しかし、開発したシステムは部分的な業務を自動化したシステムであり、残っているシステムの課題を継続的に改善しなければならない。

全体システムの構成と機能については、図 6-9 にまとめて示す。点線の部分が現在バーコードを活用したモニタリングシステムの業務範囲であり、段階的に全ての業務範囲にシステムの活用を広げること、並びにシステムの一部機能や生産情報をゼネコンに提供することなどが課題として検討される。

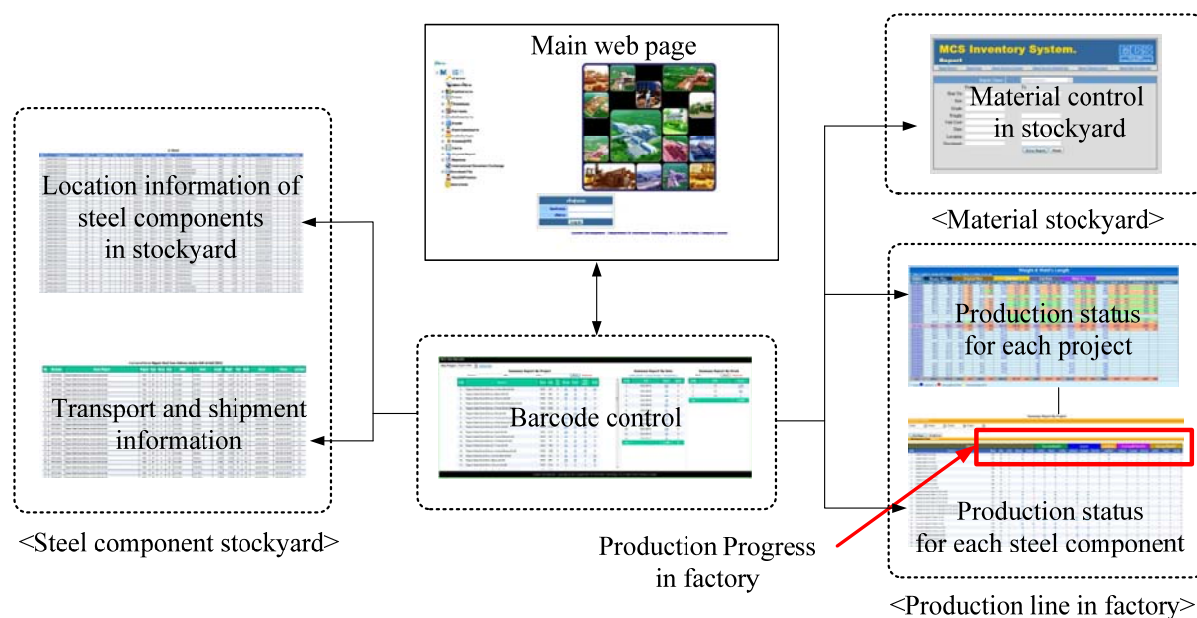


図 6-7 WEB 基盤の情報管理システム

（出所：M 社提供資料）

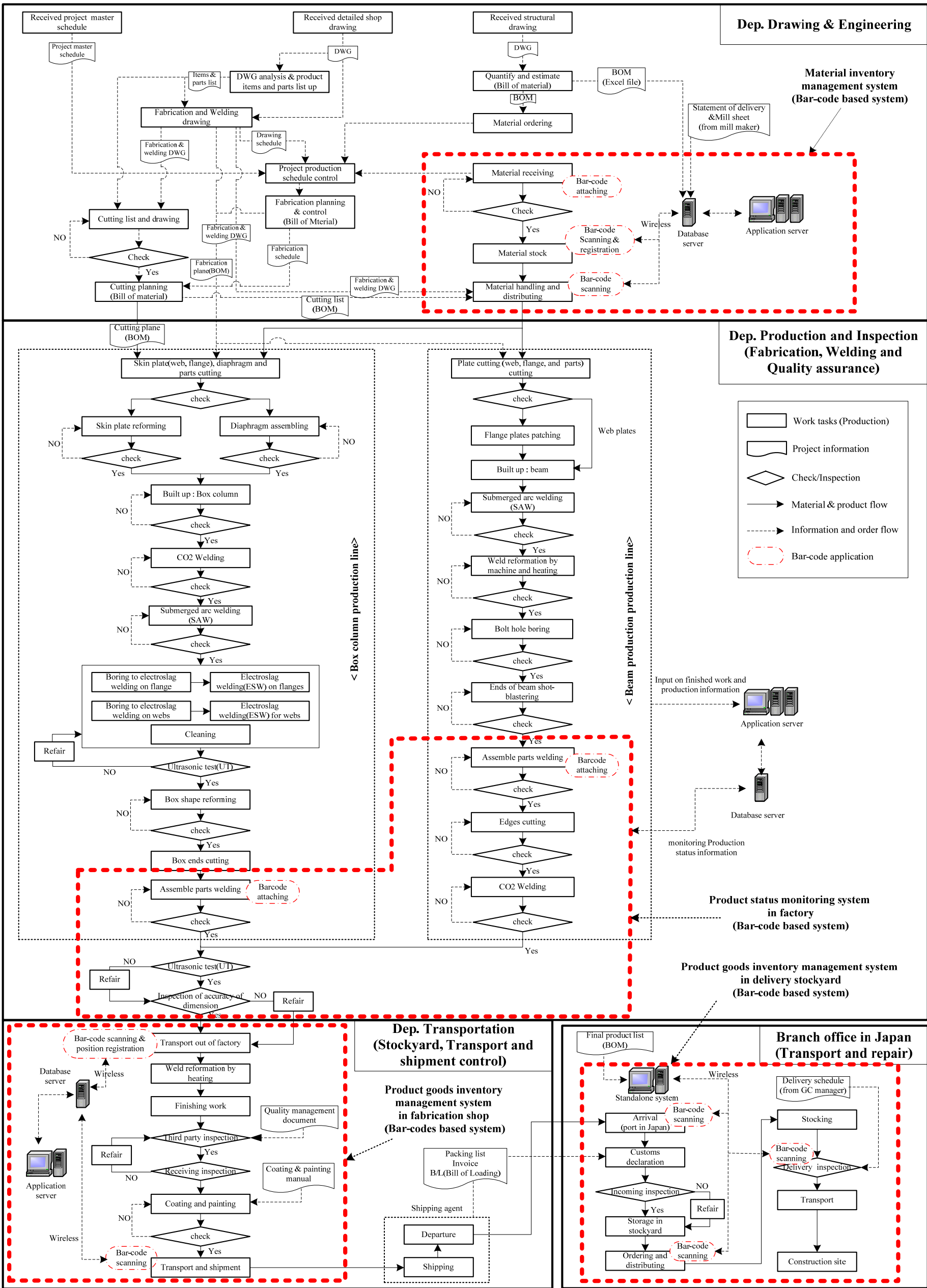


図 6-9 鉄骨ファブの情報一貫管理体系

(出所：調査に基づいて筆者作成)

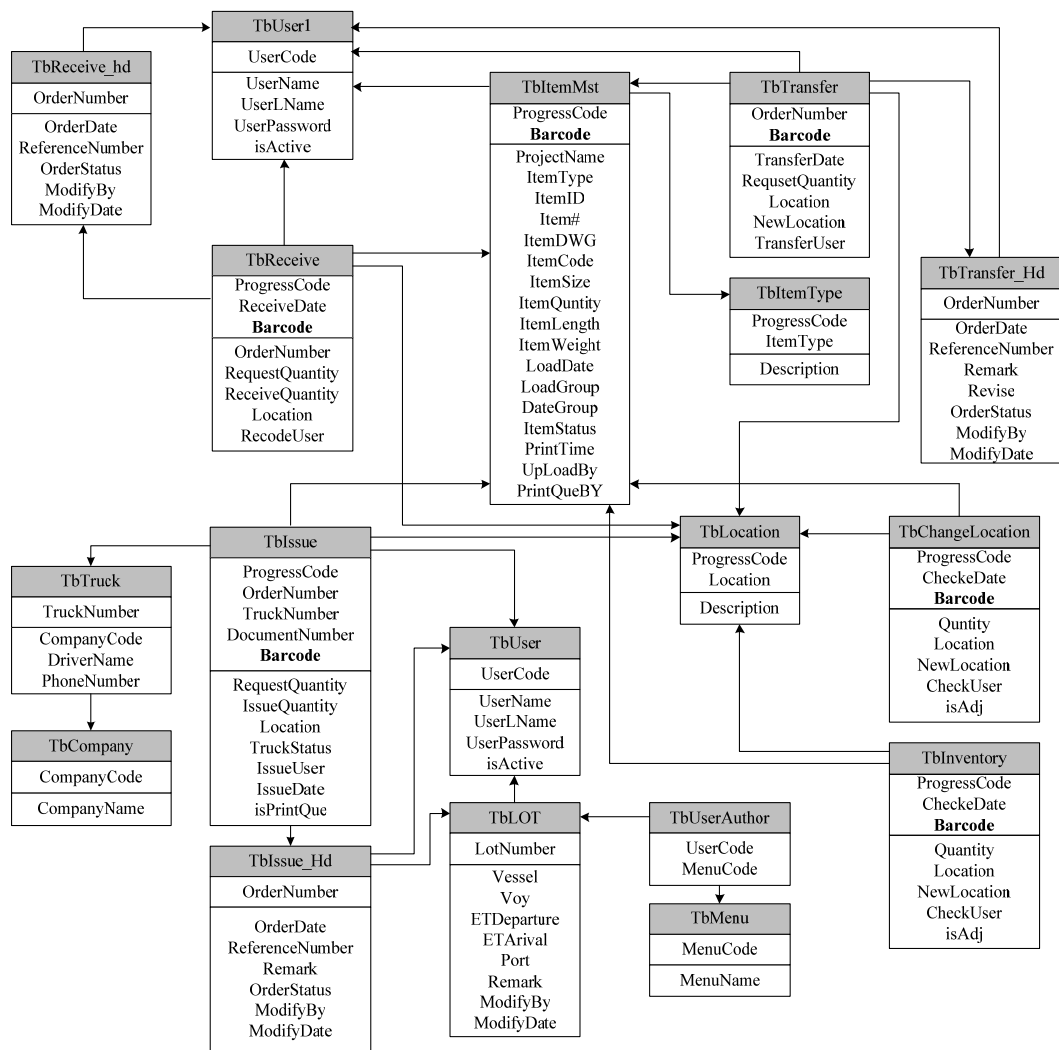


図 6-8 データベースの全体構成図⁹⁾

(出所：調査に基づいて筆者作成)

6.6 まとめ

意思決定は鉄骨生産業務の一つであり、モニタリングシステムを用いて正確な生産情報を収集し、厳しく管理すべき業務である。本章では、鉄骨ファブ(M 社)の事例分析に基づいて、意思決定の過程や変更対応の際に参考にすべき情報を明らかにした。また、溶接条件を観察して認識道具の活用に関する調査を行い、工場内の作業環境において多様なデータの収集技術の適用可能性と限界点について検討した。また、鉄骨生産プロジェクトの生産管理のために、部分的な業務に対して開発されたモニタリングシステムを検討した。本章で検討された情報システムは、全体の生産状況をモニタリングして、生産ラインの生産問題を直接に診断する効率的な方法である。しかし、モニタリング時間と情報の参考時間が異なるデータの正確性に関する改善課題が残されている。従って、設計変更に関する意思決定システムの有効性を証明するために、システムの信頼性を検討する必要がある。また、将来課題としてシステムの活用範囲を工場内の鉄骨生産業務全体に拡大するなどの検討が必要である。

6.7 適切な設計変更対応業務に関する考察

設計変更とは、決定した仕様や図面を修正する作業である。そのためには、仕様決定と修正の過程を明確することが重要である。特に、鉄骨工事の場合、施工図(一般図、製作図)を鉄骨ファブが作成し、ゼネコンと監理者が検討・承認して鉄骨製作に使っている。

図 6-9 は鉄骨の施工図に関する作成過程をまとめて示したものである。

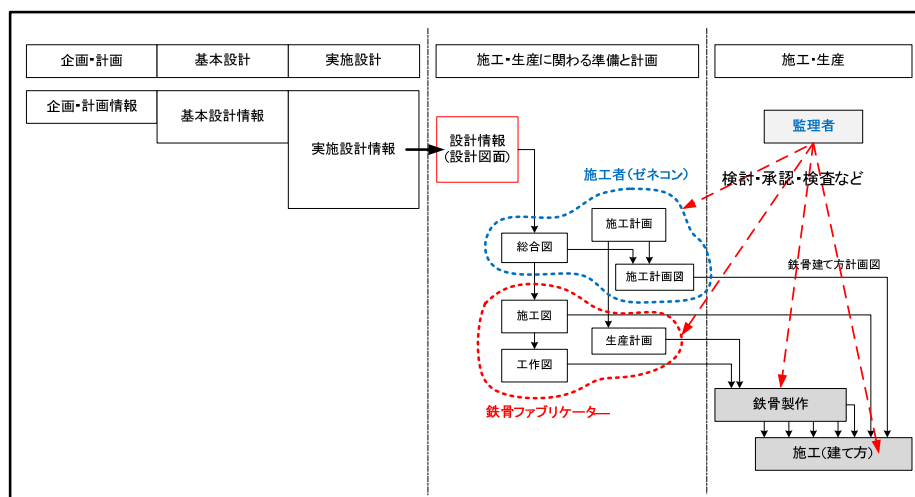


図 6-9 鉄骨生産に関する図面関係図

(出所：ヒアリングと資料²⁴⁾に基づいて筆者作成)

ゼネコンと監理者が行っている図面の検討は、一般的には図 6-10 のような過程で行われているが、設計施工一括か設計施工分離かによって多少の差があり、とくに監理者の役割に差がある。

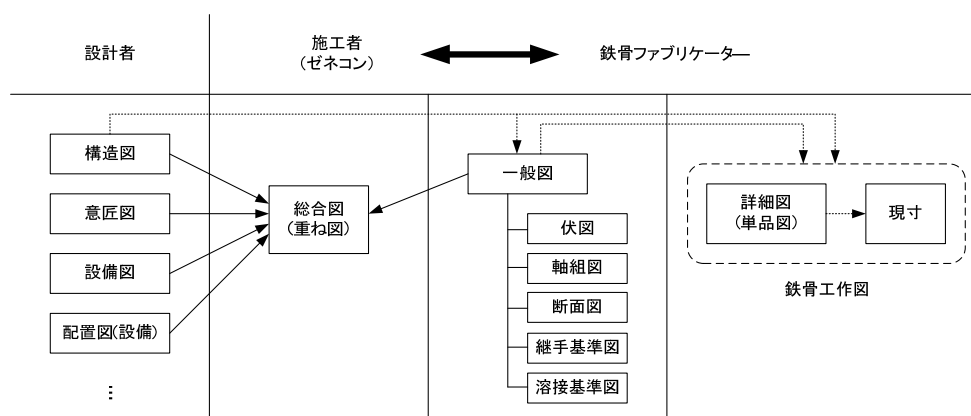
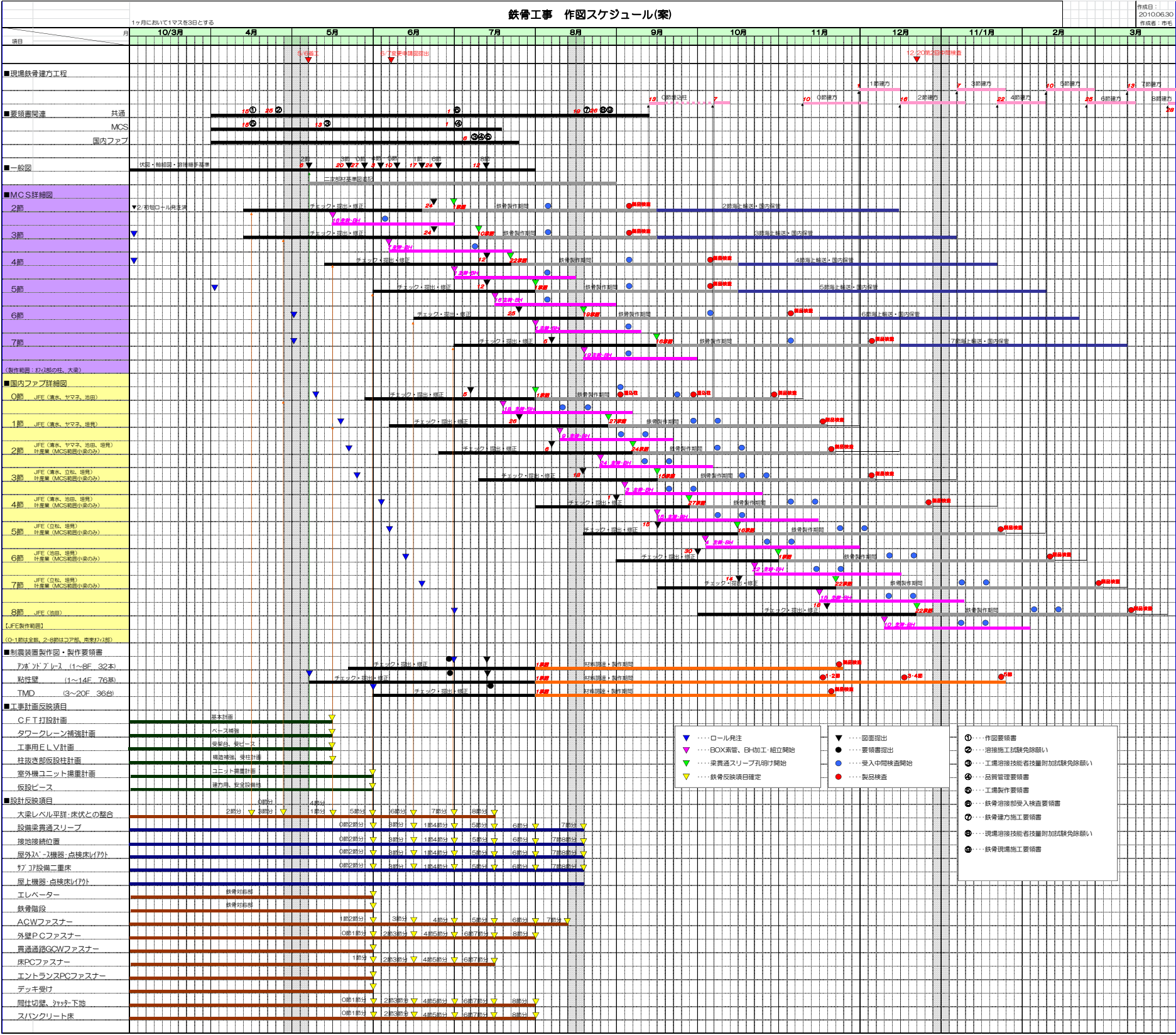


図 6-10 鉄骨生産に関する図面関係図

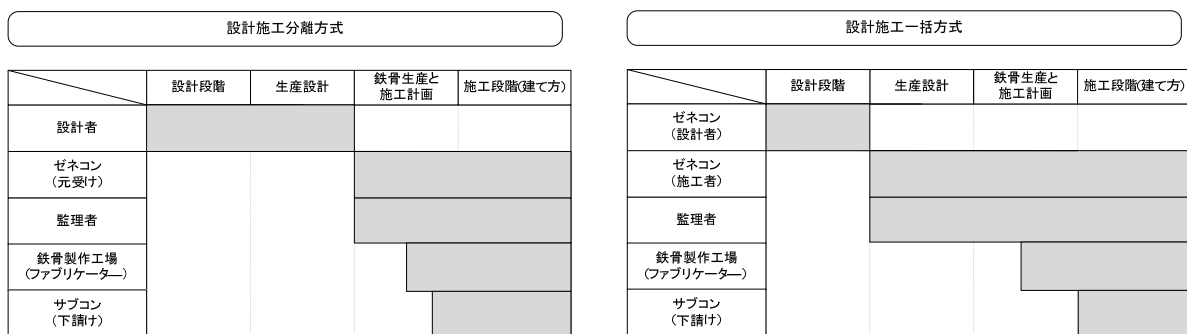
(出所：ヒアリングに基づいて筆者作成)

その過程では、第 5 章で述べたような様々な関連工事から決められる仕様が重要である。そのために、ゼネコンは図 6-11 のような図面作成スケジュールを作成し、他工事の仕様決定と取合い適合性の検討に関する業務を行っている。

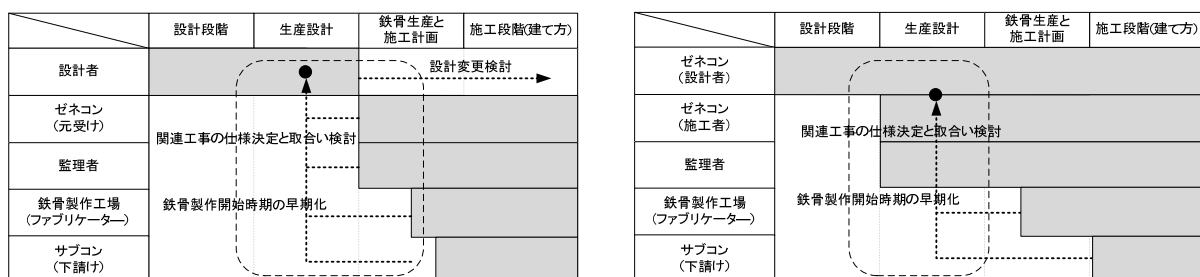


現場での設計変更対応業務はゼネコンと監理者が担当している。まず、ゼネコンは直接にプロジェクト関係者からの設計変更要求に対応し、検討結果によって変更指示や業務調整などを行う。しかし、施工段階の設計変更とは、生産設計段階で仕様決定や検討・承認が遅れた結果として生じるものが多いため、図 6-11 のような図面作成スケジュールを効率的に決めることを含めてスケジュール調整が可能な方法を検討することが重要である。また、設計変更対応業務を合理化するためには、ゼネコン(現場)がプロジェクトに早期に参加し、プロジェクト日程を考慮して図面作成スケジュールを検討する必要もある。しかし、プロジェクトの推進方式、つまり設計施工一括か分離かによってプロジェクトの参加時期が異なり、各生産主体の業務はその時期の差異が障壁になっている。

一方、監理者は変更図面の検討に関する重要な役割を担当している。その図面の検討過程には、鉄骨工事だけではなく、他工事との適合性に関する検討も行われている。そこで監理者が図面の内容を上手く理解しているのかが重要である。従って、監理者が早期にプロジェクトに参画して図面を理解する対策が考えられる。しかし、一般に着工時期から工事に参加する監理者がプロジェクトに早期参加することには制約条件になる。



<現在の鉄骨生産業務方式>



<鉄骨生産業務方式の改善案>

図 6-12 鉄骨工事の関係者に対する図面作成と検討業務の早期化に関する検討

(出所：筆者作成)

以上の検討を踏まえて、図面作成と適合性に関する検討業務を合理化するために、図 6-12 を改善案として提示する。しかし、この提案を実現するためには、鉄骨工事の設計変更だけではなく、建築生産システムの全体の観点で検討しなければならない。具体的には、プロジェクトの発注・推進方式の多様化に関する検討を通じて生産主体の早期参加が必要と考えられる。

さらに最近では、BIM (Building Information Model) を用いた IPD(Integrated Product Development)と言う図面作成方式が検討されている²⁵⁾。そのため、技術的な発展を考慮した新たなプロジェクト管理方式に関する検討が必要である。

6.8 小結

本章では、第 2 章から第 5 章までの分析結果を踏まえて設計変更対応業務に対する改善対策を考察した。

一つ目は、実質的な変更対応の可否や対応業務に掛かる費用を計算するなどの設計変更対応業務を担当する鉄骨ファブの意思決定を支援するために、生産状況のモニタリング機能を含んだ生産管理システムの開発に関する検討を行った。

その中で、先ず設計変更に対する鉄骨ファブの意思決定の過程と内容を詳細に分析し、その意思決定に資する情報を明確にした。それに基づいて意思決定に必要な正確な鉄骨生産状況の把握が可能となる生産管理システムを検討した。

二つ目は、第 4 章と第 5 章で調査分析した内容の一部である図面の作成と検討に関する業務を改善するための検討を行った。

特に、鉄骨工事は他工事の仕様決定によって変更する機会が多いため、ゼネコンの仕様決定に関するスケジュールの検定が重要な業務として検討された。一方、監理者は図面の内容に関する検討を担当し、鉄骨工事と他工事の取合い検討や図面の適合性確保に関する課題が検討された。

しかし、以上の検討結果で、鉄骨工事の関係者が自ら対応できる方法があり、鉄骨工事の設計変更だけではなく、建築生産システムの全体の観点で検討すべき課題がある。

参考文献

- 1) Kim, J.G. et al.: Decision making framework to response design change orders in a steel fabricator. Journal of Architecture and Planning(AIJ), Vol.77, No.681, pp2611-2618, 2012a
- 2) Chen, Z. et al.: An application of barcode system for reducing construction wastes, Journal of Automation in Construction, Vol. 11, pp521-533, 2002
- 3) Chae, S.H. et al.: Estimate of Work Progress Using RFID Tags, Proceedings of 21th Symposium on Building Construction and Management of Project (AIJ), pp181-188, 2005
- 4) Song, J.C. et al.: Automating the task of racking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects, Journal of Automation in

- Construction, Vol. 16, pp166-177, 2006
- 5) Ikeda, Y. et al.: Development and Application as a trial of Site Welding Management System using RF-ID Tags, Proceedings of 22th Symposium on Building Construction and Management of Project (AIJ), pp165-172, 2006
 - 6) Wang, L.C. et al.: Dynamic mobile RFID-based supply chain control and management system in construction, Journal of Advanced Engineering Informatics, Vol. 21, pp377-390, 2007
 - 7) Ergen, E. et al.: Tracking components and maintenance history within a facility utilizing radio frequency identification technology, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 21, No. 1, pp11-20, 2007
 - 8) Yoshida, T. et al.: An assistant system for quality management in building frame work using RFID, Proceedings of 24th Symposium on Building Construction and Management of Project (AIJ), pp135-140, 2008
 - 9) Kim, J.G. et al.: Management system for structural steel production using barcode between construction job site and steel fabrication shop, Proceedings of 7th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering & Construction, CICE, São Paulo, Brazil, Paper No. 31, 2012b
< <http://www.lboro.ac.uk/research/cice/conference/>>
 - 10) Costin, A. et al.: Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project, Journal of Automation in Construction, Vol. 24, pp1-15, 2012
 - 11) Zhang, X. et al.: Automating progress measurement of construction projects, Journal of Automation in Construction, Vol. 18, pp294-301, 2009
 - 12) Rebolj, D. et al.: Automated construction activity monitoring system, Journal of Automation in Construction, Vol. 22, pp493-503, 2008
 - 13) Son, H.J. and Kim, C.W. : 3D structural component recognition and modeling method using color and 3D data for construction progress monitoring, Journal of Automation in Construction, Vol. 19, pp844-854, 2010
 - 14) El-Omari S. et al.: Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work, Journal of Automation in Construction, Vol. 18, pp1-9, 2008
 - 15) El-Omari, S. and Moselhi, O.: Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects, Journal of Automation in Construction, Vol. 20, pp699-705, 2011
 - 16) Azimi, R. et al. : A framework for an automated and integrated project monitoring and control system for steel fabrication projects, Journal of Automation in Construction, Vol. 20, pp88-97, 2011
 - 17) Gong, J. and Caldas C.H.: An object recognition, tracking, and contextual

- reasoning-based video interpretation method for rapid productivity analysis of construction operations, Journal of Automation in Construction, Vol. 20, pp1211-1226, 2011
- 18) Cheng, T. et al.: Automated task-level activity analysis through fusion on real time location sensors and worker's thoracic posture data, Journal of Automation in Construction, Vol. 29, pp24-39, 2013
 - 19) Navon, R. and Goldschmidt E.: Monitoring labor inputs: automated-data-collection model and enabling technologies, Journal of Automation in Construction, Vol. 12, pp185-199, 2002
 - 20) Navon, R. : Research in automated measurement of project performance indicator, Journal of Automation in Construction, Vol. 16, pp176-188, 2007
 - 21) Kimoto K. et al.: The application of PDA as mobile computing system on construction management, Journal of Automation in Construction, Vol. 14, pp500-511, 2005
 - 22) Karumanasseri, G. and AbouRizk, S.: Decision support system for scheduling steel fabrication projects, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 128, No. 5, pp392-399, 2002
 - 23) Song, L. et al.: Virtual shop model for experimental planning of steel fabrication projects, Journal of Computer in Civil Engineering, ASCE, Vol. 20, No. 5, pp308-316, 2006
 - 24) 日本建築学会：建築生産にかかわる伝達・共有されるべきデータの体系化と実務指針、pp78-79、1999.5
 - 25) 日経アーキテクチュア：特集 BIM の実力、pp26-41、2012.9

第7章 結論

7.1 各章のまとめ

本論文では、建築プロジェクトにおける鉄骨工事の設計変更対応業務を研究対象とし、鉄骨生産体制と品質確保の仕組みを明らかにした上で、発注方式やプロジェクトごとに異なる業務の遂行プロセスを考慮して、設計変更の発生タイミングとそれらが及ぼす影響の分析を行い、その差異を明らかにした。また、ゼネコンと鉄骨ファブのそれぞれの設計変更対応業務と役割分担の関係を分析、鉄骨ファブの意思決定の仕組みを把握し、その意思決定を支援する情報のあり方を検討した。そして、これらをふまえて、鉄骨工事における設計変更の発生から、ならびにその対応業務の合理化に関する原因的な検討を行った。各章で得られた知見を以下に示す。

第2章では、社会・経済的な要因によって鉄骨生産体制が徐々に変化している実態を明らかにするために、事例調査に基づいて鉄骨生産体制および鉄骨工事における品質確保の仕組みを分析した。また、鉄骨生産を一括して担当している大規模な鉄骨ファブの事例分析を通じて鉄骨生産業務を詳細に分析した。

本章で得られた具体的な分析結果は以下のとおりである。

各建築プロジェクトは異なる形態の鉄骨生産体制を取っているため、単純に鉄骨生産体制を類型化することは不可能である。また、複雑な業務になっている鉄骨生産の途中に、設計変更が発生すると、その対応業務を円滑に行うことが困難になる可能性が高い。従って、合理的な設計変更対応業務体制を検討するためには、先ず鉄骨生産体制を巡る様々な問題点と改善課題を検討し、その後、より正確な意思決定や設計変更対応業務を円滑にする業務の合理化に関する検討を行う必要がある。また、根本的には、設計変更が少ない鉄骨生産体制や業務管理方法などを検討すべきであると考えられる。

第3章では、鉄骨工事における設計変更の発生タイミングとその影響を正確に評価するために、生産リードタイムの変換モデルを開発し、三つのプロジェクトに適用して分析を行った。

本章で得られた具体的な成果は以下のとおりである。

提案したモデルはデータの変換にも拘らず、生産リードタイムを簡単に変換して設計変更の発生タイミングと影響の特徴を分析することが可能で有効なモデルである。また、分析の結果、以下のことが確認できた。

- ①大部分の設計変更は鉄骨製作の途中に発生している（約56～90％）。
- ②早期に変更した設計変更より、遅れた設計変更がプロジェクトに大きな影響を与えている。
- ③プロジェクトごとに設計変更に関する累積曲線の幅が異なっている。
- ④設計施工一括方式の場合、設計変更の累積頻度と追加コストの曲線が一回交差した。この意味するところは特定時期以後から変更対応費用が急激に増加していることである。
- ⑤工作図の作成に関するコーディネーションと設計変更対応の関係は設計変更の発生タイミングに影響を与えている。

以上の分析の結果、設計変更の発生タイミングはプロジェクトの発注方式や管理方式と強い関係を持つことを明らかにした。

第4章では、鉄骨工事の合理的な設計変更対応体制を検討するために、実際に鉄骨工事の設計変更を担当している鉄骨ファブの対応業務とその意思決定の仕組みを詳細に分析した。また、より円滑な意思決定を行うために、サブマネージャー会議を導入した事例を取り上げ、導入前後の改善効果と課題を考察した。

本章で得られた具体的な成果は以下のとおりである。

鉄骨ファブがサブマネージャー会議体を導入することによって、設計変更要求に対して意思決定のプロセスを迅速化し、設計変更対応業務時間を短縮する効果を上げていることを実証的に検証した。一方で、この業務改善で注意を要することとして、いくつかの課題を提示した。特に、今後の鉄骨ファブの課題としては、以下の2つがある。

- ①会議体を効率的に支援することが可能な情報システムの確立。
- ②会議体の編成・役割分担の明確化。

また、鉄骨工事に関わる各生産主体の業務と情報の流れを明確化し、合理的な設計変更対応体制を構築する視点では、発注者、設計者、ゼネコン、そして鉄骨ファブとの設計変更対応業務を含んだ鉄骨生産システムの一貫管理体制の構築について検討が必要である。

第5章では、鉄骨工事における設計変更対応業務の実態を明らかにするために、設計施工一括と分離の2つのプロジェクト事例に基づいて、設計変更の要求から最終処理までの各段階の業務・情報や意思伝達の過程を一連の流れとして分析した。また、設計変更対応に掛かる費用を計算するため、鉄骨ファブの業務をモデル化し、事例から設計変更の想定シナリオを作成してシミュレーションを行った。

本章で得られた具体的な成果は以下のとおりである。

鉄骨工事における設計変更対応業務はゼネコン・監理者・鉄骨ファブの3社が協力して対応しており、その業務形態は相互依存性が高い仕組みになっている。しかし、これは材料発注から図面作成や鉄骨製作までの鉄骨生産の全体業務を一貫した鉄骨ファブとゼネコンの間の設計変更対応業務を分析した結果である。そのため、工作図や材料発注を別に行った鉄骨ファブとゼネコンの間の設計変更対応業務では、本稿で分析した鉄骨ファブの各部署が行う意思決定内容を各企業が行うこととなり、その調整業務きわめて重要となることが予想される。

一方、設計変更の分析結果によれば、変更内容は主要部材の変更より小部品の変更が多い。これは他の工事からの付帯施設における部品の仕様決定が遅れて大量に変更が発生したためである。また、対応費用の計算結果からみると主要部材の場合、厚板切断または総組立作業の以後に変更すると費用が増加し、小部材は総組立や溶接以後に変更をすると費用が増加する。また、設計施工一括(事例E)の方が設計変更分離(事例D)より設計変更発生件数が少ない。

第6章では、第2章から第5章までの分析結果を踏まえて設計変更対応業務に関する改善対策を考察した。

本章で得られた具体的な成果は以下のとおりである。

一つ目は、実質的な変更対応の可否や対応業務に掛かる費用を計算するなどの設計変更対応業務を担当する鉄骨ファブの意思決定を支援するための生産管理システムの開発に関する検討を行った。その中で、先ず設計変更に対する鉄骨ファブの意思決定の過程と内容を詳細に分析し、その意思決定に資する情報を明確にした。それに基づいて意思決定に必要な正確な鉄骨生産状況の把握が可能となる生産管理システムの概念設計を行った。

二つ目は、第4章と第5章で調査分析した図面作成とその内容検討に関する業務を改善するための検討を行った。特に、鉄骨工事は他工事の仕様決定によって変更する場合が多いため、ゼネコンの仕様決定に関するスケジュールの検討を重要な業務として検討した。一方、監理者は図面の内容に関する検討を担当し、鉄骨工事と他工事の取合い検討や図面の整合性確保に関する検討が重要な業務となっており、それら諸点での課題の検討をした。

7.2 結論

各章で得られた以上の知見から、本論文で明らかにしたことは次のようにまとめられる。

第一に、日本の鉄骨生産システムにおいては、様々な社会的な変化・要因によって品質確保に関する法制度が徐々に厳しくなってきた。その結果、プロジェクトの工期管理の上で厳しい制約条件となっている。また、各プロジェクトは異なる鉄骨生産体制や業務分担形態を取っているが、全ての鉄骨生産業務は現場の日程と業務に連動して行われているため、設計変更対応業務も鉄骨生産業務の一部として扱うべきである。このような立場から、鉄骨工事における設計変更の発生構造を決める主要な要因として、①品質確保の仕組み、②鉄骨生産体制、③現場と鉄骨ファブの業務関係、④鉄骨製作図の作成を実証的に明らかにした。

第二に、鉄骨工事における設計変更は様々な要因によって発生している。そのなかで、施工段階では発注者や設計者からの変更要求は約3～5%にすぎず、変更の大半は鉄骨工事と他工事との取合いや現場の工程調整などに起因するものである。このような設計変更の発生タイミングと影響の特徴を事例に基づいて分析し、鉄骨工事の設計変更業務が、①鉄骨生産体制、②生産計画などから発生し、その発生タイミングと影響はプロジェクトごとに異なっていることを明らかにした。

第三に、大規模な鉄骨ファブを調査し、社内の各部署が段階的に行っている設計変更の対応過程、検討内容、意思決定の仕組みを詳細に分析した。さらに意思決定の過程を迅速化するためのサブマネージャー会議体の導入前後を比較し、①検討時間の短縮、②意思決定の明確化などの効果があることを明らかにした。また、改善課題としては、分散管理されている鉄骨生産情報を効率的に活用し、組織発展に伴う不明確な役割分担と位置付けを改善するために、①会議体を効率的に支援する情報システムの確立、②全社的な会議体の編成・役割分担などの明確化が必要であることを明らかにした。

第四に、一般的な鉄骨生産業務では現場と鉄骨ファブが強く連携した管理の仕組みを形成しているが、変更対応業務は鉄骨生産主体ごとに分立して変更対応業務を遂行し、相互依存性が高い体制になっている。このような設計変更対応業務の相互依存性を、事例に基づいて主な生産主体であるゼネコン・監理者・鉄骨ファブの役割分担と設計変更対応に関する業務協力関係を詳細に明らかにした。また、現場からの変更要求に対する対応費用のパターンを明らかにするために、対応費用シミュレーションを行い、対応費用の変動の時期・タイミングを明確にした。具体的には、ウェブやフランジは製作開始後から、鉄骨本体に取付けるブラケットや小部品は総組立後から変更対応費用が上昇することを明らかにした。

第五に、現場と鉄骨工場に分けて設計変更対応業務の改善方策を検討した。鉄骨工場では、実質的な対応方法として鉄骨ファブの意思決定を支援する生産管理システムの開発のために、①意思決定に必要な情報、②生産状況のモニタリング時期、③既に関連されたシステムの統合などを検討し、設計変更対応業務の一貫管理が可能な業務体制の構築に関する概念設計を行った。一方で、溶接などの作業にバーコードや RFID などの認識技術を使う際には熱管理に注意を要し、また、現場の設計変更対応業務は基本的に図面の作成・検討過程を改善し、変更発生が少ない図面作成体制を構築することが最も望ましいことを明らかにした。また、着工以降に発生する設計変更の主な原因は、①取合い検討の不足、②関連工事からの使用決定の遅れ、③生産計画の変更などであり、これらの問題に対する改善課題としては、①図面作成過程の明確化とともに検討業務を支援する情報技術の活用、②全体プロジェクトの日程を考慮して綿密に生産計画を作成する方法、③鉄骨工事の関係者が早期にプロジェクトに参加し仕様検討・決定に関与するプロジェクトの推進方式の検討が必要であることを明らかにした。

以上の研究結果から見ると、本研究の所期の目的である「設計変更対応業務の実態の把握と、何時までに的確な変更指示を発信すれば鉄骨生産主体に掛かる負担を軽減でき、円滑な鉄骨生産業務になるかを明確にすること」について、一定程度問題が解けたと考えられる。今後、さらに本論文で明らかになった課題を考慮して検討すればより正確な設計変更対応が可能な鉄骨工事における設計変更対応体制が構築できると考えられる。